

ВЛИЯНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.С. Зыбалов, Е.П. Юдина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Представлены результаты химического анализа пахотных и залежных почв Челябинской области за долгосрочный период. Рассматриваются процессы накопления тяжёлых металлов в верхних горизонтах почв в результате антропогенного воздействия. Выявлено значительное увеличение концентрации тяжёлых металлов в пробах. Показано, что повышенное содержание тяжёлых металлов существенно снижает плодородие почв.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, почва, плодородие, земли сельскохозяйственного назначения.

Введение

Загрязнение почв тяжёлыми металлами в высоко урбанизированных районах с развитой промышленностью является проблемой, затрагивающей многие регионы мира [1–10]. Накопление тяжёлых металлов в плодородном слое почвы приводит не только к аккумуляции их в сельскохозяйственной продукции [1, 2, 4, 5], но в дальнейшем снижает плодородие почв. Особенно это актуально для Южного Урала, где развитое сельское хозяйство находится в близком соседстве с масштабными промышленными зонами. Выбросы промышленных предприятий, преимущественно металлургического комплекса, а также твёрдые отходы с высоким содержанием тяжёлых металлов постоянно загрязняют сельскохозяйственные угодья, вызывая эрозийные процессы и снижая плодородие почв. Одним из основных показателей антропогенной нагрузки на почву является содержание в ней тяжёлых металлов. В первую очередь оценке подлежат такие металлы как кадмий, никель, свинец, медь и хром [11, 12]. Ранее исследователями [11] было обнаружено, что значительное загрязнение земель Челябинской области тяжёлыми металлами наблюдается в степной зоне, что связано с рассеиванием и осаждением на подстилающую поверхность компонентов выбросов промышленных предприятий Магнитогорска и Троицка. Наибольшая концентрация загрязнений отмечается вблизи крупных промышленных центров: Челябинска, Магнитогорска, Троицка, Верхнего Уфалея и близлежащих к ним районов (Агаповского, Верхнеуральского, Сосновского, Красноармейского и Еткульского). В данной работе приводятся результаты исследований важнейших свойств выщелоченных и обыкновенных черноземов в Верхнеуральском, Октябрьском и Сосновском районах Челябинской области за период 2006–2015 гг.

Экспериментальная часть

Исследования проводились в период с 2006 по 2015 года. Почвенные разрезы делались в Октябрьском, Верхнеуральском и Сосновском районах. Точечные пробы отбирали на пробной площадке из двух горизонтов методом конверта с глубины от 0 до 5 и от 5 до 20 см массой 0,5 кг в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 17.4.02–84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб почв для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Определение кобальта в почве производили фотометрическим методом на фотометре фотоэлектрическом «КФК-3-01» согласно ГОСТ Р 50687-94 «Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО». Определение меди, цинка, свинца и кадмия проводили по методикам, приведённым в [14] с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «Квант-2АТ».

Обсуждение результатов

Значительная часть земель Сосновского района находится в зоне антропогенного влияния промышленных предприятий г. Челябинска. Исследования на территории племзавода (ПЗ) «Россия в Сосновском районе показали, что миграция тяжёлых металлов в почвах, прилегающих к территории ЧМК, имеет гумусово-аккумулятивный характер. Максимальная аккумуляция Pb, Cd, Cu, Ni, Zn проявляется в верхних горизонтах почвы. Это связано со способностью металлов образовывать комплексы с органическими веществами в составе почвы и, таким образом, накапливаться в горизонтах, богатых гумусом (табл. 1).

Таблица 1

Валовое содержание тяжёлых металлов в почве на территории племзавода «Россия» Сосновского района, мг/кг почвы

Горизонты почвы	Pb	Cu	Ni	Cd	Zn
A (гумусовый)	34,20	87,16	36,7	3,71	146,7
AB (второй гумусовый)	10,40	38,90	34,50	3,16	51,40
B (переходный)	9,60	58,17	41,4	3,08	96,40
ПДК (ОДК) (мг/кг) с учетом фона	32,00	3,00	4,00	1,00	23,00

Наблюдается накопление тяжёлых металлов в верхнем горизонте почвы, затем происходит некоторое снижение их концентрации в горизонте AB и затем увеличение в горизонте B.

Мониторинг показал, что исследуемые залежные почвы в Сосновском районе относятся к чернозему выщелоченному, по гранулометрическому составу – среднесуглинистые. Структура почвы зернистая и мелкокомковатая.

Ранее было выявлено, что содержание и накопление тяжёлых металлов зависит от концентрации подвижного фосфора (P_2O_5) в почве [11]. Это можно объяснить тем, что тяжёлые металлы образуют со свободными фосфат ионами нерастворимые фосфаты состава: $Pb_3(PO_4)_2$, $Cu_3(PO_4)_2$, $Zn_3(PO_4)_2$. Данные соединения аккумулируются в почве и обеспечивают повышенный уровень валового содержания металлов, одновременно снижая содержание подвижного фосфора. Подобные результаты отмечаются и на землях Магнитогорской промышленной зоны.

Если в 2012 году на фоне слабокислой реакции почвенного раствора (pH 4,8–5,5) наблюдалось повышенное содержание тяжелых металлов, а именно: содержание меди, никеля и цинка значительно превышало ПДК, а концентрация кадмия была несколько выше ОДК (с учетом фоновых концентраций) [15]. Однако в 2015 году превышение ПДК по данным элементам не наблюдалось. Это связано с тем, что за летний период 2015 года выпало в 2,2 раза больше осадков, чем в 2010 и 1,5 раза больше, чем в 2012 году. В связи с этим массовая доля тяжелых металлов (медь, свинец, кадмий, цинк) была нулевой.

Подобные исследования химического анализа пахотных и залежных почв были проведены в 2010 году в Октябрьском районе. Для чего было сделано два почвенных разреза – на пашне и на залежи, где определялось содержание тяжелых металлов по горизонтам. Результаты данных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Валовое содержание тяжёлых металлов в почве на территории с. Подовинное Октябрьского района, мг/кг почвы

№ пробы	Горизонт, см	Подвижные формы					
		Pb	Cu	Ni	Cd	Zn	Co
Разрез №1 (пашня в обработке)							
1	0–10	0,14/10,88	0,03/17,60	1,50/24,20	0,08/0,15	0,26/68,94	0,13/7,07
2	10–20	0,11/10,66	0,02/16,30	1,32/25,23	0,04/0,15	0,14/63,7	0,07/7,26
3	20–50	0,14/10,21	0,02/16,30	1,03/23,40	0,05/0,08	0,11/53,26	0,04/5,92
4	50–100	0,38/9,48	0,06/15,10	0,70/21,50	0,06/0,09	0,09/51,14	0,05/4,55
Разрез №2 (залежные земли)							
5	0–10	0,06/10,05	0,02/19,90	1,64/21,44	0,03/0,08	0,29/66,2	0,06/6,49
6	10–20	0,23/10,60	0,03/18,00	1,12/22,40	0,04/0,07	0,04/63,87	0,05/6,46
7	20–50	0,18/10,21	0,02/20,42	1,38/20,42	0,05/0,09	0,24/63,14	0,07/6,77
8	50–100	0,47/9,00	0,10/20,24	0,67/20,24	0,08/0,09	0,15/62,15	0,03/5,04
ПДК (ОДК), мг/кг		32,0	3,0	4,0	1,0	23,0	5,0

Примечание: в числителе – кислотнорастворимые формы, в знаменателе – подвижные формы.

Для того, чтобы проследить за процессами, протекающими на необработанных землях, и изучить причины изменения их состояния, были отобраны пробы в 2003–2008 гг. в южной лесостепи на опытном поле учебного хозяйства Верхнеуральского агролицея № 133. Результаты анализа почв опытного участка приведены в табл. 3.

Таблица 3
Результаты химического анализа образцов опытного участка, мг/кг почвы. Верхнеуральский район (2003–2008 гг.)

№ пробы	Горизонт, см	Pb	Cu	Ni	Cd	Zn	Co
1	0–10	0,14/12,88	0,03/21,6	1,50/34,2	0,08/0,15	0,26/78,9	0,13/7,07
2	10–20	0,11/12,66	0,02/30,3	1,32/35,2	0,04/0,15	0,14/73,7	0,07/7,26
3	25–40	0,19/10,21	0,02/16,3	1,03/29,45	0,05/0,08	0,01/53,2	0,04/5,92
4	40–70	0,08/9,48	0,06/15,1	0,70/24,5	0,06/0,09	0,09/51,8	0,05/4,55
5	70–100	0,08/9,8	0,10/17,1	0,67/27,2	0,08/0,09	0,15/62,7	0,4/5,04
ПДК (ОДК), мг/кг		32,0	3,0	4,0	1,0	23,0	5,0

Примечание: в числителе – кислотнорастворимые формы, в знаменателе – подвижные формы.

Установлено, что в первые два года на заброшенных землях преобладали корнеотпрысковые сорные растения (осот полевой, бодяк полевой, молочай лозный, вьюнок полевой), они являлись доминирующими видами и составляли более 80 % биомассы. На третий год на залежных землях корнеотпрысковые сорняк, а также некоторые виды однолетних начинают выпадать из травостоя, увеличивается доля таких видов как тысячелистник, пырей ползучий, смолевка хлопущка, овсяница луговая, на пятый – восьмой год начинают доминировать залежные виды растений, появляется полынь обыкновенная, льнянка обыкновенная, пижма обыкновенная, трехреберник непахучий, чина луговая, оносма простейшая и др. [16].

Морфологический верхний (0–10 см) горизонт характеризуется большой насыщенностью корнями степной растительности. На пашне в слое 0–10 см объем корней достигает 637 см³ на 1 м², на залежи 2 года – 875 см³, на пятилетней залежи – 1820 см³ на 1 м². Насыщенность почвы корнями в слое 0–10 см на залежных землях по сравнению с пашней (горохо-овсяные смеси) возрастает: в среднем в 3 раза. Определение интенсивности выделения CO₂ по методу В.И. Штатного в 0–10 см показало увеличение биологической активности почвы на залежных почвах в сравнении с пашней. Так, под горохо-овсом на пашне выделялось 0,48 г/см³ CO₂, а на пятилетней залежи – в 1,2 раза больше.

Особый интерес и практическую ценность имеет структура и плотность сплочения залежных почв черноземов. По данным исследования содержание агрегатов (0,25 до 10 мм при сухом просеивании почвы на второй год залежи составляло 69,3 %, на пятилетней содержание агрегатов увеличилось на 5,8 %, а на восьмилетней залежи на 8 % и составляло 79,4 %. Одно из важнейших свойств почвы – плотность сложения, которая для большинства полевых культур находится в пределах 1,1–1,2 г/см³ в проводимых исследованиях на черноземе обыкновенном на целине в слое 0–10 см она составляла 1,24 г/см³, на залежи второго года – 1,26 г/см³.

В первые годы после перевода пашни в залежные земли наблюдается уплотнение почвы, затем за счет увеличения массы корней растений происходит ее разуплотнение. На пашне наименьшая плотность наблюдалась после рапса – 1,02 г/см³, наибольшая – после пшеницы и горохо-овсяной смеси, около 1,18–1,15 г/см³ соответственно.

Заключение

Повышенная концентрация тяжёлых металлов в почвах Южного Урала связана со сложными геоморфологическими условиями и с воздействием антропогенных факторов. Почвенный покров вблизи промышленных зон характеризуется высоким содержанием Zn, Cu, Cd, Ni. Содержание тяжёлых металлов отрицательно влияет на основные свойства почвы, в особенности на микрофлору, подвижные формы фосфора, который является лимитирующим фактором для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Перевод земель в залежные способствует накоплению органического вещества и снижает отрицательное действие тяжёлых металлов.

Изменение черноземов выщелоченных и обыкновенных после пяти и восьмилетнего пребывания их в залежном состоянии приводит к изменению видового состава растений, накоплению

органического вещества, значительному увеличению корней, возрастанию биологической активности почвы. В результате изменяются основные агрофизические свойства почв: на пяти и восьми летней залежи уменьшается плотность сложения, улучшается структура верхней части бывшего обрабатываемого пахотного слоя. Для ввода их в сельскохозяйственный оборот необходима дифференцированная технология обработки почвы, использование гербицидов, удобрений и мелиорантов в зависимости от сроков пребывания в залежи, что приводит к снижению содержания тяжёлых металлов в почве и повышению её плодородия.

Литература

1. Metals and Metalloids in Fruits of Tomatoes (*Solanum Lycopersicum*) and Their Cultivation Soils in the Basque Country: Concentrations and Accumulation Trends / J. Trebolazabala, I. Martinez-Arkarazo, A. de Diego, J.M. Madariaga // *Food Chemistry*. – 2015. – V. 173. – P. 1083–1089. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.133
2. Balkhair, K.S. Field Accumulation Risks of Heavy Metals in Soil and Vegetable Crop Irrigated with Sewage Water in Western Region of Saudi Arabia / K.S. Balkhair, M.A. Ashraf // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2016. – V. 23, Iss. 1, Supplement. – P. S32–S44. DOI: 10.1016/j.sjbs.2015.09.023
3. Heavy Metals of Santiago Island (Cape Verde) Top Soils: Estimated Background Value Maps and Environmental Risk Assessment M.M.S. / C. Pinto, E. Ferreira da Silva, M.M.V.G. Silva, P. Melo-Goncalves // *Journal of African Earth Sciences*. – 2015. – V. 101. – P. 162–176. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2014.09.011
4. Kulizhskiy, S. The Components of Critical Zone (Soil and Vegetation) as Indicators of Atmospheric Pollution with Heavy Metals of the Tomsk District (Western Siberia) in the Natural Ecosystems / A. Rodikova, N. Evseeva, Z. Kvasnikova, M. Kashiro // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2014. – V. 10. – P. 399–404. DOI: 10.1016/j.proeps.2014.08.071
5. Golia, E.E. Influence of Some Soil Parameters on Heavy Metals Accumulation by Vegetables Grown in Agricultural Soils of Different Soil Orders / E.E. Golia, A. Dimirkou, I.K. Mitsios // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* – 2008. – V. 81. – P. 80–84. DOI 10.1007/s00128-008-9416-7
6. Bo, B. Contamination and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils Irrigated with Biogas Slurry: a Case Study of Taihu Basin / B. Bo, S.W. Hai, J.Zh. Ling // *Environ Monit Assess.* – 2015. – V. 187. – P. 155–161. DOI 10.1007/s10661-015-4377-x
7. Assessment on Environmental Quality of Heavy Metals in Agricultural Soils of Chongming Island, Shanghai City / C. Sun, Ch. Bi, Zh. Chen et al. // *Geogr. Sci.* – 2010. – V. 20, № 1. – P. 135–147. DOI: 10.1007/s11442-010-0135-8
8. Srinivasarao, Ch. Heavy metals concentration in soils under rainfed agro-ecosystems and their relationship with soil properties and management practices / Ch. Srinivasarao, S.R. Gayatri, B. Venkateswarlu, V.S. Jakkula, S.P. Wani, S. Kundu, K.L. Sahrawat, B.K. Rajasekhara, R.S. Marimuthu, K.G. Gopala // *Int. J. Environ. Sci. Technol.* – 2014. – V. 11. – P. 1959–1972. DOI 10.1007/s13762-013-0350-9
9. Naidu, R. Sorption of Heavy Metals in Strongly Weathered Soils: an Overview / R. Naidu, M.E. Sumner, R.D. Harter // *Environmental Geochemistry and Health*. – 1998. – V. 20. – P. 5–9.
10. Gongalskya, K.B. Relationship Between Soil Invertebrate Abundance and Soil Heavy Metal Contents in the Environs of the Kosogorsky Metallurgical Plant, Tula Oblast / K.B. Gongalskya, Zh.V. Filimonovab, A.S. Zaitseva // *Russian Journal of Ecology*. – 2010. – V. 41, № 1. – P. 67–70. DOI: 10.1134/S1067413610010133
11. Добровольский, И.П. Продукты техногенеза и плодородие земель Челябинской области / И.П. Добровольский, В.А. Бакунин, Н.Т. Шеремет. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 2000. – 78 с.
12. Зыбалов, В.С. Возможности экологически ориентированного управления воспроизводством почвенного плодородия в Челябинской области / В.С. Зыбалов, А.П. Козаченко // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2002. – № 1. – С. 35–40.
13. ГОСТ Р 50687-94. Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. – М.: Главное управление химизации с госхимкомиссией МСХ России. ЦИНАО, 1993. – 13 с.

14. Методические указания по определению содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 74 с.

15. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

16. Зыбалов, В.С. Агроэкологическая оценка агроценозов и залежных почв Южной лесостепи Челябинской области / В.С. Зыбалов // Вестник ЧГАУ. – 2005. – № 45. – С. 91–93.

Зыбалов Владимир Степанович – профессор, доктор сельскохозяйственных наук, кафедра экологии и природопользования, химический факультет, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: zybalov74@mail.ru

Юдина Екатерина Петровна – кандидат химических наук, доцент, кафедра экологии и природопользования, химический факультет, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: iudinaep@susu.ac.ru

Поступила в редакцию 15 мая 2016 г.

DOI: 10.14529/chem160302

INFLUENCE OF HEAVY METALS ON AGRICULTURAL SOILS OF CHELYABINSK REGION

V.S. Zybalov, zybalov74@mail.ru

E.P. Yudina, yudinae@inbox.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The results of long-term studies of arable land of Chelyabinsk region are presented. The causes of fertility decline are studied. A high concentration level of heavy metals in the samples was revealed. It is shown that contamination of agricultural land significantly decreases its fertility.

Keywords: heavy metals, soil, soil fertility, arable land.

References

1. Rodriguez-Irretagoiena A., Trebolazabala J., Martinez-Arkarazo I., de Diego A., Madariaga J.M. Metals and Metalloids in Fruits of Tomatoes (*Solanum lycopersicum*) and Their Cultivation Soils in the Basque Country: Concentrations and Accumulation Trends. *Food Chemistry*, 2015, vol. 173, pp. 1083–1089. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.133

2. Balkhair K. S., Ashraf M.A. Field Accumulation Risks of Heavy Metals in Soil and Vegetable Crop Irrigated With Sewage Water in Western Region of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2016, vol. 23, Issue 1, Supplement, pp. S32–S44. DOI: 10.1016/j.sjbs.2015.09.023

3. Pinto C., Ferreira da Silva E., Silva M.M.V.G., Melo-Goncalves P. Heavy Metals of Santiago Island (Cape Verde) Top Soils: Estimated Background Value Maps and Environmental Risk Assessment M.M.S. *Journal of African Earth Sciences*, 2015, vol. 101, pp. 162–176. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2014.09.011

4. Kulizhskiy S., Rodikova A., Evseeva N., Kvasnikova Z., Kashiro M. The Components of Critical Zone (Soil and Vegetation) as Indicators of Atmospheric Pollution with Heavy Metals of the Tomsk District (Western Siberia) in the Natural Ecosystems. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2014, vol. 10, pp. 399–404. DOI: 10.1016/j.proeps.2014.08.071

5. Golia E. E., Dimirkou A., Mitsios I. K. Influence of Some Soil Parameters on Heavy Metals Accumulation by Vegetables Grown in Agricultural Soils of Different Soil Orders. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 2008, vol. 81, pp. 80–84. DOI 10.1007/s00128-008-9416-7

6. Bo B., Hai S. W., Ling j. Zh. Contamination and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils Irrigated with Biogas Slurry: a Case Study of Taihu Basin. *Environ Monit Assess*, 2015, vol. 187, pp. 155–161. DOI 10.1007/s10661-015-4377-x
7. Sun C., Bi Ch., Chen Zh., Wang D., Zhang C., Sun Y., Yu Zh., Zhou D. J. Assessment on Environmental Quality of Heavy Metals in Agricultural Soils of Chongming Island, Shanghai City. *Geogr. Sci.* 2010, vol. 20, no. 1, pp. 135–147. DOI: 10.1007/s11442-010-0135-8
8. Srinivasarao Ch., Rama Gayatri S., Venkateswarlu B., Jakkula V. S., Wani S. P., Kundu S., Sahrawat K. L., Rajasekhara B. K., Marimuthu R. S., Gopala K. G. Heavy Metals Concentration in Soils Under Rainfed Agro-Ecosystems and Their Relationship with Soil Properties and Management Practices. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 2014, vol. 11, pp. 1959–1972. DOI 10.1007/s13762-013-0350-9
9. Ravendra Naidu, Sumner M. E., Harter R.D. Sorption of Heavy Metals in Strongly Weathered Soils: an Overview. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, vol. 20, pp. 5–9.
10. Gongalskya K. B., Filimonovab Zh. V., Zaitseva A. S. Relationship Between Soil Invertebrate Abundance and Soil Heavy Metal Contents in the Environs of the Kosogorsky Metallurgical Plant, Tula Oblast. *Russian Journal of Ecology*, 2010, vol. 41, no. 1, pp. 67–70 DOI: 10.1134/S1067413610010133
11. Dobrovolskiy I. P., Bakunin V. A., Sheremet N. T. *Produkty tekhnogeneza i plodorodie zemel' Chelyabinskoy oblasti* [Technogenesis Products and Fertile Lands of the Chelyabinsk Region]. Chelyabinsk: South-Ural Publ, 2000. 78 p.
12. Zybalov V. S., Kozachenko A. P. [Possibilities of Environmentally Oriented Management of Soil Fertility Reproduction in the Chelyabinsk Region]. *International Agricultural Journal*, 2002, vol. 1, pp. 35–40. (in Russ)
13. GOST R 50687-94. *Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedineniy kobal'ta po metodu Peyve i Rin'kisa v modifikatsii TsINAO* [State Standard 50687-94. Soils. Measurement of Flow Compounds of Co Using Peyve and Rin'kis Method in CIAS Modification]. Moscow, Central Institute of Agrochemical Service, 1993. 13 p. (in Russ.)
14. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu sodержaniya tjazhelykh metallov v pochvah sel'skohozjajstvennykh ugodij i produkcii rastenievodstva* [Guidelines for the Determination of Content of Heavy Metals in Soils of Agricultural Lands and Plant Production]. Moscow, Central Institute of Agrochemical Service, 1992. 74 p. (in Russ.)
15. GN 2.1.7.2041-06. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [Maximum Permissible Concentration (MPC) of Chemicals in the Soil]. (in Russ.)
16. Zybalov V.S. [Agroecological Assessment of Agroecosis and Fallow Lands of South Forest-Steppe of Chelyabinsk Region]. *Bulletin of Chelyabinsk State Agroengineering Academy*, 2005, vol. 45, pp. 91–93. (in Russ.)

Received 15 May 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Зыбалов, В.С. Влияние тяжёлых металлов на плодородие почв Челябинской области / В.С. Зыбалов, Е.П. Юдина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2016. – Т. 8, № 3. – С. 13–18. DOI: 10.14529/chem160302

FOR CITATION

Zybalov V.S., Yudina E.P. Influence of Heavy Metals on Agricultural Soils of Chelyabinsk Region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2016, vol. 8, no. 3, pp. 13–18. DOI: 10.14529/chem160302
