

Наука – производству

УДК 631.95

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ВЕДЕНИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ НОВОЛИПЕЦКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА)

Дмитрий Николаевич Курбаков¹, Алексей Валерьевич Панов²,
Владимир Константинович Кузнецов³

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км

¹ – аспирант; e-mail: kurbakov007@gmail.com

² – д. б. н., зам. дир. по НОИД, профессор РАН; e-mail: riar@mail.ru

³ – д. б. н., главн. н. с.; e-mail: vkuzn@yandex.ru

Проведен агроэкологический мониторинг зоны воздействия предприятий Липецкой промышленной агломерации. Изучены закономерности распределения тяжелых металлов (ТМ) в почве и продукции растениеводства в регионе размещения Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК). Выявлены основные ТМ, присутствующие в газоаэрозольных выбросах промышленного комплекса (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn). Установлено, что содержание ТМ в почве существенно различается в зависимости от источника загрязнения, направления распространения выбросов и растительного покрова. Наибольшее количество ТМ сосредоточено в слоях почвы 0–2 и 2–5 см, где их содержание в 1,2–8,5 раза выше, чем в материнской породе. Для обоснования адресных приемов реабилитации сельскохозяйственных земель, загрязненных ТМ, использовалась база данных, характеризующая эффективность технологий ведения земледелия на техногенно загрязненных территориях. База данных включает экологические, почвенные и хозяйственные показатели реабилитационных технологий. Определены оптимальные технологические приемы ведения растениеводства в зоне воздействия НЛМК.

Ключевые слова: тяжелые металлы, техногенное загрязнение, реабилитационные технологии, растениеводство, база данных.

Техногенное загрязнение окружающей среды – один из наиболее значимых факторов, оказывающих негативное воздействие на аграрные и природные экосистемы. При этом загрязнение почв поллютантами различной природы наблюдается во всех промышленно развитых регионах России. Площадь загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) почв сельскохозяйственных угодий составляет 3,6 млн. га, из которых более 1 млн. га загрязнены особо токсичными элементами 1-го класса опасности [1].

Основные источники техногенного загрязнения природных и аграрных экосистем подразделяются на промышленные, сельскохозяйственные, транспортные и коммунально-бытовые. Они формируются в результате нарушений технологического режима или аварий на промышленных предприятиях, а также образуются в результате жизнедеятельности человека или применения агроメリорантов и пестицидов в сельском хозяйстве [2].

Техногенное загрязнение агроландшафтов обуславливает необходимость разработки приемов и технологий, снижающих негативное действие

поллютантов и повышающих устойчивость агроценозов к их воздействию. Для ведения растениеводства необходимо разработать системы земледелия, включающие технологические приемы, которые, с одной стороны, обеспечивают сохранение плодородия почв и повышение продуктивности агроценозов как интегрального показателя их устойчивости, а с другой, – получение продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим нормативам и требованиям к биологическому и технологическому качеству урожая [1].

При оценке опасности загрязнения почв аграрных экосистем химическими веществами учитывается ряд показателей: токсичность, персистентность (устойчивость ксенобиотика к процессам разложения и трансформации) в почве и растениях, миграционная подвижность, а также фактические уровни содержания элемента, класс опасности, буферность почвы, влияющей на подвижность элементов, характер землепользования. При этом среди приоритетных загрязнителей (пестициды, радионуклиды, нитраты, органические синтетические соединения) ТМ представляют наибольшую опасность для человека [3].

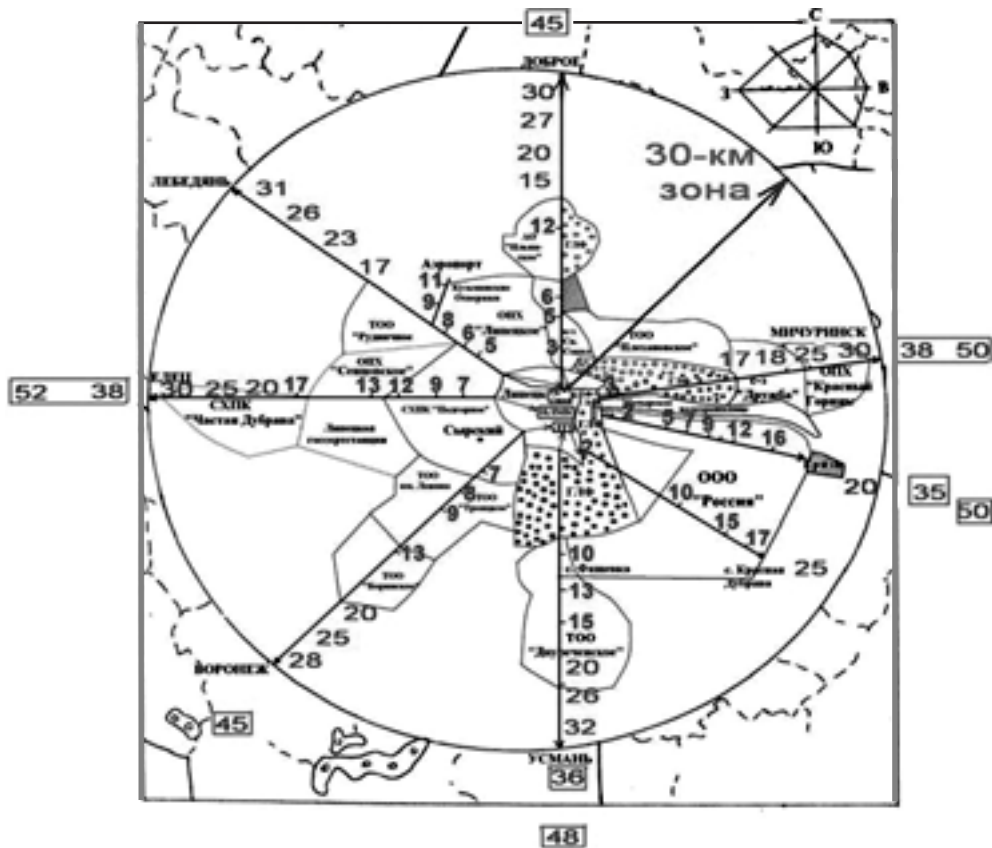


Рис. 1. Схема отбора проб почв и сельскохозяйственных культур (цифрами указано расстояние в км от ближайшего наиболее крупного промышленного предприятия).

Липецкая область является одним из крупнейших индустриальных центров России с интенсивным развитием металлургической промышленности, машиностроения, строительной индустрии, энергетики и др. Наиболее крупные предприятия сконцентрированы в Липецкой промышленной агломерации, которая формирует более 80% выбросов всех предприятий области. Основным стационарным источником загрязнения ТМ является Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК) – предприятие с полным металлургическим циклом, в выбросах которого фиксируются такие ТМ, как Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn и др. [1].

Цель исследований – проведение агроэкологического мониторинга и выявление оптимальных реабилитационных технологий в сельском хозяйстве в условиях, наиболее характерных для региона размещения НЛМК.

Методика. Исследования в рамках агроэкологического мониторинга проводились в 2007–2010 гг. на сельскохозяйственных угодьях в зоне воздействия предприятий Липецкой промышленной агломерации.

В качестве тестового объекта было выбрано наиболее типичное для Липецкой области сельскохозяйственное предприятие ООО «Россия» с общей площадью землепользования 4150 га, часть которой примыкает к НЛМК. Основным производ-

ственным направлением этого хозяйства является растениеводство и молочное животноводство.

Почвенный покров хозяйства представлен среднекультурными выщелоченными черноземами преимущественно среднесуглинистого гранулометрического состава с небольшим распространением легкосуглинистых почв.

Отбор проб почв осуществлялся по 8 румбам с шагом 1–5 км (рис. 1). Максимальное расстояние отбора проб от промышленного предприятия 50 км. Смешанная проба составлялась не менее чем из 10–15 индивидуальных почвенных образцов, равномерно отобранных на экспериментальном участке. Глубина отбора индивидуальных и смешанных проб на пахотных угодьях 0–20, а на сенокосах и пастбищах 0–10 см [4–6].

Определение содержания ТМ проводилось согласно методическим указаниям ЦИНАО [7] с использованием атомно-абсорбционного плазменного спектрометра «Sequential ICP AES Liberty AX Varian».

При формировании базы данных (БД) по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ, анализировались соответствующие результаты исследований, которые были опубликованы в виде статей, монографий, материалов конференций, кандидатских и докторских диссертаций [8].

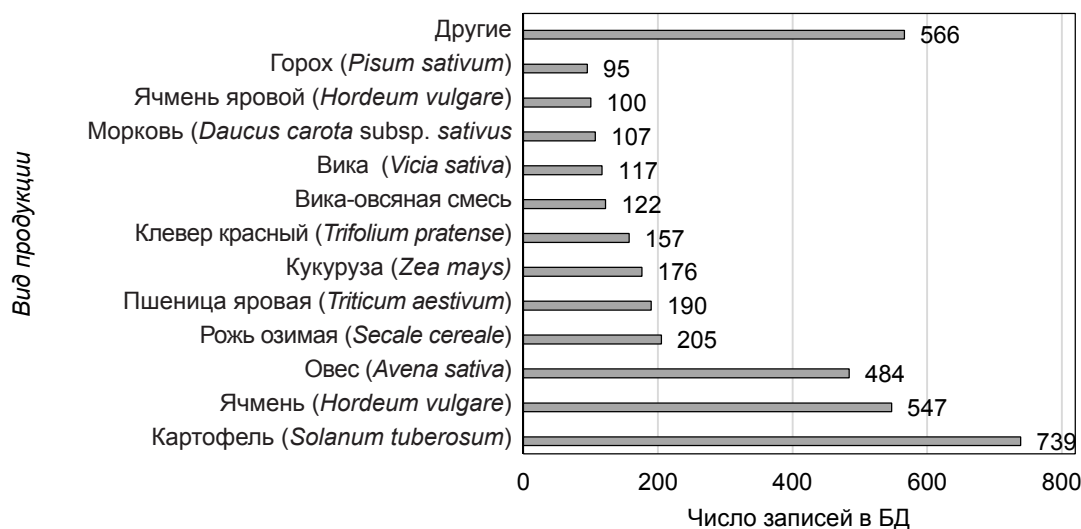


Рис. 2. Число записей в базе данных по видам сельскохозяйственной продукции

Информация БД относится преимущественно к исследованиям, проведенным в регионах Российской Федерации – около 94%. Оставшиеся 6% – это исследования, проведенные в Республике Беларусь, Литве, Италии, Вьетнаме и Эстонии. Около 78% исследований проводилось на дерново-подзолистых почвах, 15% записей составили описания экспериментов на черноземах. На серых лесных почвах было проведено около 4% исследований [8, 9].

В БД собрана информация о влиянии агрохимических приемов на снижение перехода ТМ в сельскохозяйственную продукцию для различных культур: зерновые (яровая и озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), овес (*Avena sativa* L.), ячмень (*Hordeum vulgare* L.), кукуруза (*Zea mays* L.)), овощные (картофель (*Solanum tuberosum* L.), свекла (*Beta vulgaris* L.), горох (*Pisum sativum* L.), морковь (*Daucus carota* subsp. *sativus* (Hoffm.)) и луговую растительность (естественные и сеяные травы). Наиболее изучаемыми культурами являются картофель (*Solanum tuberosum* L.) – 19% записей), ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – 14%, овес (*Avena sativa* L.) – 13%, рожь озимая (*Secale cereale* L.) – 5% и др. (рис. 2) [9, 10].

Разработанная база данных предназначена для ввода, хранения, систематизации, поиска и анализа информации по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ. Основными показателями, характеризующими эффективность реабилитационных технологий, являются кратность снижения концентрации ТМ в продукции и увеличение урожайности культур.

Наиболее оптимальные технологии и приемы ведения сельскохозяйственного производства на угодьях, загрязненных ТМ, определялись на осно-

вании анализа БД и результатов агроэкологического мониторинга в зоне воздействия НЛМК.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного агроэкологического мониторинга установлено, что для природных участков и кормовых угодий, прилегающих к НЛМК, характерна выраженная аккумуляция ТМ в верхних слоях почвы. При этом основное количество ТМ сосредоточено в слоях 0–2 и 2–5 см (табл. 1). Наибольшие различия концентраций характерны для Ni и Cr, а в ряде случаев для Cd, Pb и Zn. Вместе с тем указанные различия наиболее выражены на участках, расположенных вблизи основных предприятий Липецкой промышленной агломерации, а при удалении от них эти различия существенно нивелируются, что указывает на снижение техногенной нагрузки на верхние слои почвы с увеличением расстояния от промышленных объектов. Следует отметить, что в ряде случаев содержание ТМ в слое 0–2 см ниже, чем в слое 2–5 см, что, вероятно, обусловлено процессами перераспределения ТМ в верхних слоях почвы и наблюдаемым уменьшением промышленных выбросов поллютантов в последние годы [11].

Среди ТМ основными загрязняющими элементами по наблюдаемой частоте превышения ПДК в растениях являются Fe, Cr, Ni, Zn. Основное распространение загрязняющих веществ на территории Липецкой области происходит по преобладающей розе ветров в восточном и юго-восточном направлении, что определяет преимущественно аэральный тип загрязнения сельскохозяйственных культур и должно учитываться при организации земледелия в зоне воздействия НЛМК [11].

Разработанная база данных позволила провести подбор адресных технологий для конкретных земельных участков с учетом таких показателей, как тип почв, гранулометрический состав, pH, гумус,

1. Валовое содержание тяжелых металлов в профиле почв целинных участков на разном расстоянии от основных предприятий Новолипецкой промышленной агломерации, мг/кг

Глубина, см	Содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг						
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
2 км к юго-востоку от НЛМК							
0–2	1,7	13,7	52,3	33,1	37,7	27,1	115,3
2–5	1,9	14,1	57,1	27,4	43,4	31,5	121,4
5–10	0,9	8,2	27,5	14,3	16,5	16,0	59,0
10–20	0,4	8,1	21,1	13,2	14,3	11,1	31,2
20–40	0,4	8,0	20,3	12,1	13,7	9,1	27,5
40–60	0,3	7,7	20,2	12,3	13,8	8,2	26,4
60–80	0,2	7,5	20,1	12,2	13,9	8,0	25,0
80–100	0,2	7,5	19,7	11,8	14,0	7,9	25,2
100–120	0,2	7,4	19,8	12,0	13,7	7,8	25,0
35 км к юго-востоку от НЛМК							
0–2	0,2	2,9	9,6	7,7	8,4	5,8	34,7
2–5	0,1	3,2	10,0	7,5	8,9	6,2	35,1
5–10	0,1	2,8	8,7	7,0	8,5	5,8	32,3
10–20	0,1	2,5	8,5	6,8	7,5	4,6	31,5
20–40	0,1	2,5	8,2	6,5	7,2	4,3	31,0
40–60	0,1	2,5	8,1	6,5	7,2	4,2	26,1
60–80	0,1	2,5	8,2	6,5	7,3	4,3	25,4
80–100	0,1	2,5	8,1	6,5	7,2	4,2	25,0
100–120	0,1	2,4	8,0	6,4	7,2	4,2	24,7

и определить наиболее оптимальные технологии с максимально возможным эффектом снижения содержания ТМ в продукции растениеводства и получения продукции, соответствующей нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 [12].

Следует отметить, что изменение соотношения элементов питания растений при внесении удобрений позволяет снизить переход ТМ в продукцию растениеводства, а также повысить урожайность культур. Однако при большом увеличении продуктивности повышается вынос ТМ зеленой массой растений. Поэтому, для выбора эффективных реабилитационных технологий важным фактором является достижение оптимального соотношения между их экологической эффективностью (кратность снижения содержания ТМ в растениях) и экономической выгодой (увеличение урожайности культур) [1].

В рамках традиционных технологий возделывания сельскохозяйственных культур были выделены некоторые элементы технологий, которые способствуют снижению накопления ТМ в растениях, в частности, известкование кислых почв, внесение оптимальных доз минеральных удобрений, применение органических удобрений (табл. 2). Подбор технологий производился с использованием базы данных. Учитывались только

технологии с положительным эффектом и с агрохимическими показателями почв (гумус, рН, P_2O_5 , K_2O , Ca, а также гранулометрический состав и тип почвы) характерными для зоны воздействия НЛМК.

Показано, что комплексное применение минеральных и органических удобрений является более эффективным приемом получения продукции зерновых с наименьшим содержанием ТМ по сравнению с их отдельным внесением. При этом сбалансированное внесение азотных, фосфорных, калийных и органических удобрений в дозах N60P60K60 совместно с навозом 30 т/га обуславливает снижение перехода из почвы в зерновые культуры Cu в 1,5, Cd в 1,5, Pb в 1,6 и Zn в 1,3 раза в среднем. Для Ni и Zn эффективным приемом является внесение навоза в дозе 30 т/га, позволяющим снизить переход этих металлов в 1,2 и 1,9 раза, соответственно (табл. 2).

В зависимости от агрохимического приема и вида ТМ продуктивность пшеницы изменяется от 1,1 до 1,5 раза. Наибольшая урожайность пшеницы наблюдается при внесении минеральных удобрений в дозах N60P60K60 совместно с навозом 30 т/га. В среднем данное сочетание удобрений приводит к увеличению урожайности в 1,3 раза и снижению перехода ТМ из почвы в растения до 1,6 раза.

**2. Средняя кратность снижения накопления тяжелых металлов
в клубнях картофеля и зерновых культурах при применении агрохимических технологий в условиях,
характерных для ближней зоны воздействия НЛМК в пахотном слое глубиной 0–20 см**

Комбинации удобрений	Кратность снижения накопления тяжелых металлов, раз				
	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu
Картофель					
N60 P60 K60	1,24	1,02	–	1,00	1,09
N30 P30 K30 + навоз 20 т/га	1,67	1,08	1,14	1,31	1,13
N30 P30 K30 + известь 6 т/га	1,45	1,17	1,36	1,70	1,23
N30 P30 K30 + навоз 20 т/га + известь 6 т/га	1,19	1,11	1,13	1,44	1,22
Навоз 20 т/га	1,52	1,15	1,81	1,52	1,14
Зерновые культуры					
N60 P60 K60	1,10	1,10	1,38	1,50	1,32
N120 P120 K120	1,09	1,05	1,50	1,50	1,32
N60 P60 K60 + навоз 30 т/га	–	1,25	1,64	1,50	1,48
Навоз 30 т/га	1,20	1,89	1,63	1,50	1,09

Для снижения накопления ТМ в клубнях картофеля на данной территории эффективно комплексное внесение минеральных удобрений в дозах N30 P30 K30 и извести из расчета 6 т/га, что позволяет уменьшить накопление Ni в 1,5, Zn в 1,2, Pb в 1,4, Cd в 1,7 и Cu в 1,2 раза. Также возможно внесение органических удобрений в дозах 20 т/га, снижающих переход Ni в клубни картофеля в 1,5, Zn в 1,2, Pb в 1,8, Cd в 1,5 и Cu в 1,1 раза.

При преобладании аэрального пути загрязнения посевов ТМ большое значение имеет время, прошедшее после выброса токсикантов. Период самоочищения растений составляют около двух недель. В этом случае защитным приемом может служить изменение сроков уборки урожая.

В качестве организационного мероприятия возможно использовать также изменение структуры землепользования. В этом случае рекомендовано размещение вблизи источника загрязнения культур, хозяйственно-ценная часть которых находится в почве (корне- и клубнеплоды). Сельскохозяйственные культуры с невысокой биологической способностью к накоплению ТМ могут выращиваться на землях с повышенными уровнями техногенного загрязнения [6].

Заключение.

Проанализированы результаты агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных угодий ООО «Россия» в Липецкой области. В выбросах НЛМК обнаружены такие ТМ, как Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn и др.

С использованием базы данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ, определены наиболее оптимальные технологические приемы

получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативам, на территории, прилегающей к Липецкой промышленной агломерации.

Комплексное применение минеральных и органических удобрений является эффективным приемом получения продукции зерновых культур с наименьшим содержанием ТМ по сравнению с их отдельным внесением. Сбалансированное применение минеральных удобрений в дозах N60 P60 K60 совместно с навозом 30 т/га в большинстве экспериментов обуславливает снижение перехода из почвы в зерновые культуры Cu в среднем в 1,5, Cd в 1,5, Pb в 1,6 и Zn в 1,3 раза. Возделывание картофеля с внесением минеральных удобрений в дозах N30 P30 K30 и извести из расчета 6 т/га способствует уменьшению накопления в клубнях Ni в среднем в 1,5, Zn в 1,2, Pb в 1,4, Cd в 1,7 и Cu в 1,2 раза.

Литература:

1. Технологические приемы, обеспечивающие повышение устойчивости агроценозов, восстановление нарушенных земель, оптимизацию ведения земледелия и получение соответствующей нормативам сельскохозяйственной продукции [Под ред. Н.И.Санжаровой]. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2010. – 180 с.
2. Научные основы ведения сельскохозяйственного производства на техногенно загрязненных территориях, обеспечивающего получение продукции, соответствующей нормативам. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2004 – 110 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2016. – 639 с.
4. Ревич Б.А. Проблемы прогнозирования, «горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и

- здоровье населения России [Под ред. В.М. Захарова]. – М.: Акрополь, Общественная палата РФ, 2007. – 192 с.
5. Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Санжарова Н.И. Восстановление почв сельскохозяйственного назначения, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф. 4–7 февраля 2010 г. Семей. Казахстан, 2010. – Т. 2. – С. 268–272.
6. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
7. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (издание 2-ое). Министерство сельского хозяйства РФ. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
8. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Сотникова Н.А. База данных по эффективности технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // Электронный научно-производственный журнал «Агро-ЭкоИнфо». 2017. – №3. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/2017/st_301_annot.html.
9. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Сотникова Н.А. База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами. Руководство пользователя. ISBN 978-5-903386-44-4. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2016. – 32 с.
10. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Сотникова Н.А. Эффективность реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами. Авторское свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017620776 от 18.08.2017.
11. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Анисимов В.С., Петров К.В. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // Агрохимический вестник. – 2017. – № 6. – С. 10–13.
12. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901806306>. Дата обращения: 12.05.18.

Kurbakov D.N., Panov A.B., Kuznetsov V.K.

**EVALUATION OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL RECEPTIONS OF
PLANT PRODUCTION ON THE TERRITORIES
CONTAMINATED WITH HEAVY METALS
(ON THE EXAMPLE OF NOVOLIPETSK METALLURGICAL COMBINE)**

Agroecological monitoring of the impact zone of the Lipetsk industrial agglomeration enterprises was carried out. The patterns of heavy metals distribution in soil and crop production in the region of Novolipetsk metallurgical combine (NLMC) location were studied. The basic heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in the gas-aerosol emissions of the industrial complex were revealed. It was established that the heavy metals content in soil varied significantly, depending on the source of contamination, the direction of emissions distribution and the vegetation cover. The greatest amount of heavy metals was concentrated in 0–2 and 2–5 cm soil layers, their content were 1.2–8.5 times higher than in the parent rock. The developed database was used to substantiate targeted methods of remediation of agricultural lands contaminated with heavy metals. It characterized the efficiency of farming technologies in technologically contaminated areas and included environmental, soil and economic indicators of remediation technologies. Optimal technological methods of plant production in the vicinity of NLMK were determined.

Keywords: heavy metals, technogenic contamination, remediation technologies, plant production, database.