

# ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ ВЫБРОСАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

В.С. Груздев, д.г.н., Л.П. Груздева, д.б.н., Государственный университет по землеустройству

Рассмотрено загрязнение агроландшафтов техногенными выбросами предприятий чёрной металлургии, расположенных в лесной и лесостепной зонах России. Показаны накопление в почве тяжёлых металлов, оксидов кальция и магния и возрастание щёлочности почв, что приводит к сукцессиям в почвенном и растительном покровах, снижению биоразнообразия и биологической активности почв. Проанализированы возможности использования и методы санации в разной степени загрязнённых почв.

**Ключевые слова:** агроландшафт, техногенное воздействие, биоразнообразие, загрязнение, чёрная металлургия, почва, растения, хлороз, сукцессия.

Предприятия чёрной металлургии России расположены в разных природных зонах, различающихся типами почв и проходящими в них почвенными процессами. Поэтому техногенные выбросы предприятий чёрной металлургии после поступления в почву подвержены неодинаковым процессам аккумуляции и трансформации. Это говорит о необходимости дифференцированного подхода при разработке стратегии и тактики использования загрязнённых почв. При производстве чёрных металлов в атмосферу выбрасывается много газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  и др.), вызывающих вместе с  $\text{CO}_2$  парниковый эффект и выпадение кислых осадков. Но к подкислению почв, в отличие от воздействия цветной металлургии, это не приводит, так как одновременно с пылевыми выбросами в почву поступают карбонаты кальция и магния, нейтрализующие кислотность и подщелачивающие почву [1, 2, 3]. Наиболее неблагоприятные воздействия на почву оказывает накопление карбонатов, тяжелых металлов (ТМ), развитие щелочности, а для вегетирующих растений особенно вредны газообразные выбросы, содержащие серу, количество которой в воздухе в изученных регионах неодинаково (табл. 1).

**Методика.** Проведены экспедиционные и лабораторные исследования загрязнения агроландшафтов в лесной и лесостепной зонах. При исследовании техногенного воздействия предприятий чёрной металлургии исходили из разработанной В.С. Груздевым концепции зонально-провинциального проявления техногенного воздействия на компоненты ландшафтов природных зон, подзон и провинций. С учётом розы ветров, на терри-

ториях, подверженных воздействию выбросов предприятий чёрной металлургии, проведены маршрутно-ключевые исследования с геоботаническим описанием ключевых участков, изучением строения почвенного профиля и взятием образцов почв на анализ и биоиндикацией техногенного воздействия (Калуцков, 1992; Каменский, 2001, Груздев, 2006, 2008, Безносиков и др., 2008; и др.). Образцы почв были проанализированы по 28 показателям в ГЕАХИ им. В. Вернадского. Часть анализов и опыты по биотестированию загрязнённых почв проведены в Государственном университете по землеустройству на кафедре земледелия и растениеводства.

## 1. Эмиссии и выпадение серы для исследованных областей с чёрной металлургией

Область и город	Эмиссия с техногенных земель, (кг/км <sup>2</sup> )/год (по статистическим данным)	Оценка техногенных выпадений серы по данным мониторинга (Росгидромет), (кг/км <sup>2</sup> )/год (в ед.серы)
Вологодская	17137,4	246
Череповец		912
Московская	6704,815	1000-1500
Москва		Более 1500
Тульская	12126,07	653
Тула		2737
Липецкая	12512,98	578

**Результаты и их обсуждение.** Проведён комплексный анализ состояния окружающей среды (ОС) в регионах с чёрной металлургией, что позволило прогнозировать её дальнейшее изменение. Данные таблицы 2 иллюстрируют особенности техногенного воздействия выбросов на компоненты ландшафтов природных зон и подзон, постепенное подщелачивание почв в результате накопления оксидов кальция и магния, накопление тяжёлых металлов (ТМ). Скорость этих процессов зависит от изначальной величины рН почв, объёма техногенных выбросов и периода их накопления. Зона техногенного воздействия постепенно увеличивается.

## 2. Характеристика воздействия техногенного загрязнения выбросами предприятий черной металлургии по зонам, подзонам и провинциям

Природная зона	Природная подзона, провинция	Почвы, рН	Реакция компонентов ландшафтов на техногенное загрязнение от предприятий черной металлургии	
			реакция почв	реакция растительности
Лесная	Южная тайга, Верхневолжская	Подзолистые, болотно-подзолистые, 4,5-5,5	Поступление оксидов кальция и магния подщелачивает почвы. Характерно накопление цинка, железа, меди, никеля и др. Наибольшее накопление – в суглинистых почвах	В лесах наблюдается деградация мохового покрова, т.к. мхи-кальциефобы, брусника и черника хорошо сохраняются, потому что имеют высокий порог накопления ТМ. Снижаются приросты и возобновление древостоя. На лугах выпадают бобовые, разрастаются бодяк и другие сорняки
	Широколиственно-хвойные леса, Мещерская	Дерново-слабоподзолистые, 5,0-6,5	На подзолистых песчаных почвах в лесах и некосимых лугах накопление кальция приводит к деградации мхов. Накапливаются Pb, Zn, Sn, Cd, Cu, Ti, Ba, As	Из фитоценозов выпали бобовые, герани, вероника, многие злаки и др. Фитотоксичность ТМ увеличивается в последовательности: $\text{Pb} < \text{Zn} < \text{Cu} < \text{Co} < \text{Cd}$ . Особа лисья накапливает цинк и медь. Разрастаются борщевик Сосновского, полыни и другие сорняки
Лесостепная	Северная лесостепь, Заосетринская	Серые лесные и оподзоленные чернозёмы, 5,5-6,8	По мере загрязнения в результате накопления оксидов кальция и магния рН с 5,8 изменяется до 6, 8; 7,2; 7,5. Накапливаются Si, Ti, Fe, Cr, S, Co, Ni, Sr, Ba, As, Pb	На лугах при загрязнении выпадают бобовые и многие злаки. Преобладают сорняки и другие виды семейства астровых (бодяк, золотая розга, чертополох). В лесах снижаются приросты и жизнеспособность древостоя и возобновление, появляются мертвоточные парцеллы
	Южная лесостепь	Чернозёмы	В загрязненной почве рН достигает	В зоне сильного загрязнения (до 2 км) формиру-

	степь, Средне- русская	оподзоленные, выщелоченные и типичные, 6,6-7,2	8,1, накапливаются Pb, Cr, Ni, Zn (в 2-8 раз), Fe, Ti, Mn, Ca, Mg	есть техногенная пустыня – сосны и травы усох- ли. В зоне довольно сильного загрязнения (до 5 км) у сосен хлороз и некроз, усыхание ветвей и отдельных деревьев, травяной покров изрежен. Сохраняется типчак
--	---------------------------	---	--	--

Зона техногенного воздействия от комбината «Северсталь» достигает 55 км [3]. К настоящему времени в почвах развилась щёлочность, накопились карбонаты и ТМ (табл. 3).

### 3. Изменение почв в зоне влияния комбината «Северсталь»

рН		Валовое содержание железа в верхнем слое почвы, %		Содержание ТМ, мг/кг почвы (2010 г.)					
фоно- вое значе- ние	на рас- стоянии 2 км от комбина- та	фоно- вое значе- ние	на рас- стоянии 2 км от комби- ната	На расстоянии 15 км от ком- бината			На расстоянии 0,2-2 км от комбината		
				Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni
6,1- 6,2	7,3-7,5 (1995 г.) 7,5-7,7 (2006 г.)	3-4	10-13 (1995 г.) 13-15 (2006 г.)	7,0	0,35	0,39	30- 180	0,5- 0,9	7,6

Данные таблицы 3 показывают постепенное увеличение щелочности почв с годами, накопление техногенного железа и ТМ. выпадающие из воздуха загрязнения первоначально аккумулируются в верхнем слое почвы (0-10 см), но в дальнейшем при вспашке и под действием почвенных вод частично проникают глубже. Обнаружено, что на фоновой территории в водоохраной зоне Рыбинского водохранилища вблизи д. Гаютино для господствующих щучковых лугов характерен более богатый видовой состав (более 20 видов трав), чем на загрязнённых территориях. В зоне слабого загрязнения (35-40 км от комбината) во флоре щучковых лугов сохраняется 10-12 видов, но виды клевера уже не встречаются, из мотыльковых присутствуют горошек мышиный и чина луговая. В зоне среднего загрязнения (20-25 км) доминирует щучка луговая, присутствуют 7-10 видов, из мотыльковых сохраняется только чина луговая, но её обилие значительно уменьшилось и жизненность снизилась. В зоне сильного загрязнения (2-10 км) видовой состав обеднён, щучка исчезает, так как она гемикриптофит и её почки возобновления находятся у поверхности почвы, где на некосимых лугах загрязнения задерживаются надолго. Из злаков здесь преобладают виды полевицы и тростник южный. Характерно также большое обилие лесополосных и сорных видов (бодяк, мать-и-мачеха, купырь и др.). Установлено, что биоразнообразие на лугах по мере нарастания техногенного загрязнения постепенно снижается и изменяется соотношение эколого-фитоценологических групп видов (рис.).

### 4. Возможности использования и санации в разной степени загрязнённых почв\* агроландшафтов

Индекс загрязнения почв Zc	ПДК и загрязнённость почв	Рекомендации по возможному использованию почв	Рекомендации по санации почв
< 16,0	Содержание ЗВ немного превышает фоновое, но не достигает ПДК	Использование под любые культуры	Снижение объёма техногенных выбросов, внесение органических удобрений для снижения подвижности ЗВ
16,1-32,0	Наблюдается превышение ПДК при лимитирующем общесанитарном и миграционном водном показателе	Возможно применение в основном полевых севооборотов с обязательным контролем качества продукции	Преимущественное применение органических, органоминеральных и комплексных удобрений. Контроль за качеством поверхностных и подземных вод
32,1-128	ПДК превышено при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Возможно использование под технические культуры, не предназначенные для производства продуктов и кормов	Применение органических удобрений, внесение в почву ионообменных смол, целлюлоз. Посев и выращивание растений - концентраторов ТМ с последующим удалением биомассы на свалки или на получение биогаза
>128	Превышает ПДК по всем показателям	Исключить из сельскохозяйственного использования	На небольших участках возможно удаление верхнего слоя почвы и замена его незагрязнённой почвой. На почвах с мощным гумусовым горизонтом (чернозёмы) возможно при специальной ярусной вспашке перемещение загрязнённого горизонта на глубину 35 см и более в слой, не относящиеся к пахотному горизонту, учитывая, что питающие корни растений размещаются в основном в пахотном горизонте

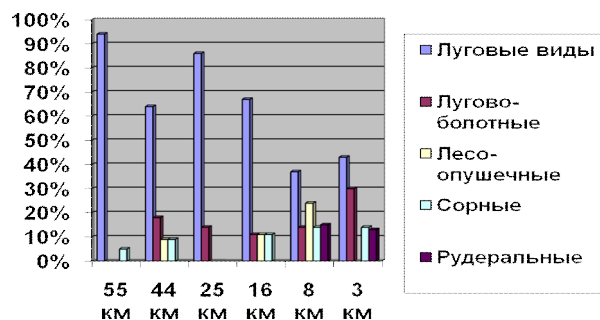


Рис. Соотношение эколого-фитоценологических групп видов на щучковых лугах на разном расстоянии от «Северстали»

В зонах техногенного воздействия комбината «Электро-сталь» и Косогорского металлургического комбината на лугах и в зелёных насаждениях также наблюдается деградация растительного покрова. Для характеристики техногенного загрязнения принято выделять категории почв по суммарному показателю загрязнения (Zc). Были проанализированы возможности использования в земледелии и мероприятия по санации в разной степени загрязнённых почв (табл. 4). Основным критерием гигиенической опасности загрязнения почв является ПДК веществ. Кроме того, при оценке загрязнения почв следует учитывать характер землепользования, имея в виду, что особенно опасно загрязнение почв агроландшафтов. Оценка воздействия загрязнения зависит также от буферности почв, проявление которой неодинаково для природных зон, подзон и ландшафтных провинций. В зависимости от буферности одни и те же объём и состав загрязняющих веществ (ЗВ) проявляются неодинаково в почвах природных зон, подзон и провинций. Развитию буферности способствует содержание в почве вторичных минералов, гумуса и рН. Чем меньше буферность почвы, тем более опасное загрязнение. При одинаковом индексе загрязнения почв (ИЗП) загрязнение более опасно для кислых почв, почв с меньшим содержанием гумуса и более лёгким гранулометрическим составом. Как показали исследования, опасность загрязнения почв ТМ возрастает в последовательности: чернозём < серые лесные почвы < дерново-подзолистые суглинистые < дерново-подзолистые супесчаные и песчаные.

\*Категория почв по степени загрязнения – допустимое загрязнение.

В России и за рубежом проблема санации загрязнённых почв всё более актуальна. В этих целях широко внедряется в практику метод *фиторемедиации* – извлечение ЗВ из почвы с помощью растений – гипераккумуляторов. К гипераккумуляторам относятся несколько видов семейства астровых (мать-и-мачеха, золотая розга, кресс - салат, бодяк, подсолнечник и др.), а также семейства капустных (горчица полевая и сизая, рапс, редька), крапива двудомная. Из мятликовых рекомендуют выращивать: сорго сахарное, пырей ползучий, щетинник зелёный.

На посевах зерновых и других культур советуют применять гуматы кальция и магния, препятствующие проникновению кадмия в зерно, гуминовые вещества (например, активизирующие деятельность полезных почвенных микроорганизмов и адсорбирующие нефтепродукты и ТМ). По устойчивости к воздействию комплекса ТМ сельскохозяйственные культуры можно расположить в убывающий ряд: травы > злаковые > зерновые > картофель > сахарная свекла. Особенно нежелательно на загрязнённых почвах выращивать овощи. Фитотоксичным считается такое содержание ТМ в почве, которое снижает урожайность растений на 10% и более по сравнению с контролем. В качестве критерия используют ПДК содержания ТМ в растениеводческой продукции. Почву можно считать условно чистой, если концентрация ТМ в фазе технической спелости культур меньше ПДК. Для определения фитотоксичности можно использовать биотестирование почв [2].

**Заключение.** Показано, что ответная реакция ландшафтов и их компонентов на техногенное загрязнение зависит не только от состава и объёма последних, но и от положения ландшафта в природной зоне, подзоне и провинции. Неодинаковая ответная реакция ландшафтов на техногенное загрязнение зависит от структуры и гранулометрического состава почвы, содержания в ней гумуса и обменных оснований и от

реакции почвенного раствора. Это приводит к разнонаправленным сукцессиям в почвенном и растительном покрове, снижению биоразнообразия и биологической активности почв. Для сельскохозяйственного производства в условиях техногенного загрязнения более пригодны суглинистые и глинистые почвы, глинные минералы которых образуют с ТМ нерастворимые соединения. Для снижения щёлочности рекомендуется использовать физиологически кислые минеральные удобрения. Сильно загрязнённые почвы следует выводить из сельскохозяйственного использования. Для очистки загрязнённых почв рекомендуют фиторемедиацию.

#### *Литература*

1. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Ландшафтно-геохимическое распределение тяжелых металлов в почвах фоновых ландшафтов северной тайги // Тр. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2008.
2. Груздев В.С. Мониторинг состояния ландшафтов в зоне влияния металлургического центра «Северсталь» // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. -2006.- № 11.- С. 79-83.
3. Груздев В.С., Шаповалов Д.А. Влияние техногенных выбросов на почвы и растительность (на примере ОАО «Северсталь»)/// Экология и промышленность России. -2008. – С. 32-35.
4. Груздев В.С. Влияние чёрной металлургии на состояние окружающей среды // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. -2008.- № 4.- С. 47-51.
5. Калущков В.Н. Основание экологической экспертизы в черной металлургии // Основы эколого-географической экспертизы.- М.: Изд-во МГУ, 1992.- С. 158-177.
6. Каменский И.В. Экология черной металлургии в настоящем и будущем // Сталь.- № 6.- 2001.- С. 107-111.
7. Кравец Е.А. Возможности комплексного использования данных об эмиссиях загрязняющих веществ и результатов мониторинга для анализа загрязнения окружающей среды // Экология урбанизированных территорий. -2007.- №4. – С.102-108.

## AGRICULTURAL USABILITY OF SOILS CONTAMINATED WITH EMISSIONS FROM IRONWORKS

V.S. Gruzdev, L.P. Gruzdeva

State University on Land Management ul. Kazakova 15, Moscow, 105064 Russia,

E-mail: gruzdev-vladimir@yandex.ru

*The contamination of agrolandscapes with technogenic emissions from ironworks located in the forest and forest-steppe zones of Russia has been considered. Accumulation of heavy metals and calcium and magnesium oxides has been revealed, as well as an increase in soil alkalinity, which causes successions in the soil and plant covers and decreases the biodiversity and biological activity of soils. The usability of soils at different degrees of contamination and methods for their rehabilitation have been analyzed.*

*Keywords: agrolandscape, technogenic impact, biodiversity, contamination, ironworks, soil, plants, chlorosis, succession.*