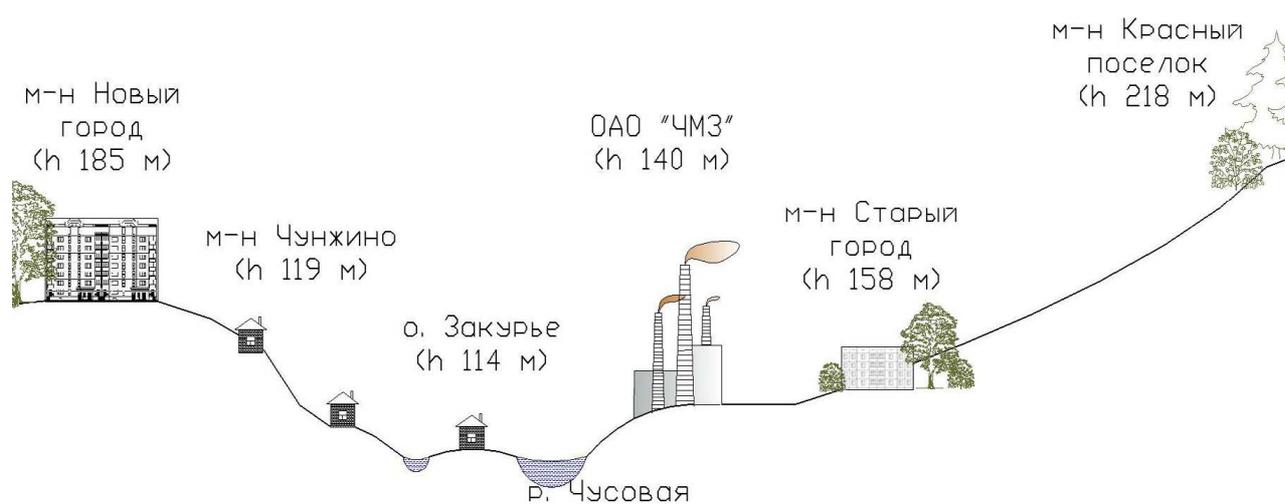


А.А. Васильев
А.Н. Чащин

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ
В ПОЧВАХ ГОРОДА ЧУСОВОГО:
ОЦЕНКА И ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ**



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пермская государственная сельскохозяйственная
академия имени академика Д.Н. Прянишникова»**

**А.А. Васильев
А.Н. Чашин**

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ
В ПОЧВАХ ГОРОДА ЧУСОВОГО:
ОЦЕНКА И ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Монография

Пермь
ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА
2011

УДК: 631.416.8
ББК: 40.3(2Р-4Пе)
В191

Рецензенты: О.З. Еремченко доктор биологических наук, профессор (Пермский государственный университет), А.Е. Леснов доктор химических наук, с.н.с. (Институт технической химии УрО РАН)

Васильев, А.А.

Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения [Текст]: монография. / А.А. Васильев, А.Н. Чащин, М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197с.; 20 см. – 100 экз.

В монографии изложены и обобщены сведения о проблеме загрязнения тяжелыми металлами почв территорий с развитым металлургическим производством. Рассмотрены оксиды железа как фазы носители тяжелых металлов в почве и современные методы их диагностики. Дана подробная характеристика природных и антропогенных факторов формирования почв г. Чусового. Рассмотрены морфологические и физико-химические свойства, гранулометрический и валовой химический состав городских почв, детально проанализировано пространственное и внутрипрофильное распределение оксидов железа и тяжелых металлов в почвах. Представлена картосхема магнитной восприимчивости почв города, составленная с использованием ГИС-технологий по материалам магнитометрической съемки. Установлена роль природных и антропогенных факторов в загрязнении почв г. Чусового тяжелыми металлами. Оценено содержание тяжелых металлов в овощах, полученных на почвах садово-огородных участков г. Чусового. Приведены сведения о содержании редкоземельных и щелочноземельных элементов в почвах.

Предназначено для почвоведов, экологов, геохимиков, специалистов землеустроительных и кадастровых служб, студентов почвенных и экологических специальностей высших учебных заведений.

Печатается по решению ученого совета Пермской государственной сельскохозяйственной академии имени академика Д.Н. Прянишникова.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ ПОЧВАХ.....	9
1.1. Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами.....	9
1.2. Metallургическое производство и состояние окружающей среды.....	15
1.3. Закрепление и поведение тяжелых металлов в загрязненных почвах.....	27
1.4. Оксиды железа как адсорбенты и носители тяжелых металлов в почве.....	32
1.5. Методы диагностики почв, загрязненных металлургическим производством.....	38
ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ ГОРОДА ЧУСОВОГО.....	41
2.1. Природные условия формирования почв города Чусового.....	41
2.2. Антропогенные условия формирования почв города Чусового.....	50
ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОЧВ.....	56
3.1. Почвенный покров города и морфологическая характеристика почв.....	60
3.2. Гранулометрический состав почв.....	74
3.3. Физико-химические свойства почв.....	78
3.4. Валовой химический состав почв.....	86
ГЛАВА 4. ОКСИДЫ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВАХ.....	90
4.1. Минералы железа в почвах по данным мессбауэровской спектроскопии.....	90
4.2. Магнитная восприимчивость почв.....	105
4.2.1. Магнитная восприимчивость как критерий экологической оценки почв.....	105
4.2.2. Профильное распределение магнитной восприимчивости.....	107

4.2.3. Магнитная восприимчивость и магнетит в почвах г. Чусового	114
4.3. Картограмма объемной магнитной восприимчивости .	117
ГЛАВА 5. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ	126
5.1. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами 1 – 3 класса опасности и мышьяком	126
5.1.1. Профильное распределение тяжелых металлов.....	127
5.1.2. Пространственное распределение тяжелых металлов	142
5.1.3. Влияние природных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах	149
5.2. Тяжелые металлы в овощах садово-огородных участков г. Чусового	153
5.3. Редкоземельные и щелочноземельные металлы в почвах.....	154
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	163
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	166

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение почв тяжелыми металлами в районе действия металлургических предприятий России - одна из актуальных экологических проблем [46, 67, 76, 90, 143, 169, 179, 198, 209, 275, 279, 283,]. Основная особенность загрязнения металлургическим производством почв – это накопление в них техногенных высокомагнитных оксидов железа, которые выступают в роли фаз носителей тяжелых металлов [26, 55, 87, 183]. Из почвы пыль, загрязненная тяжелыми металлами, поступает в городской воздух, оказывая негативное влияние на состояние здоровья человека и его генофонд [11, 133].

Черная металлургия занимает одно из ключевых мест в экономике Среднего Предуралья. Металлургические заводы городов Пермского края и Удмуртии формируют вокруг себя территории с различными техногеохимическими аномалиями тяжелых металлов. Различные аспекты загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова городов Среднего Предуралья были изучены О.З. Еремченко [94], В.П. Ковриго [124], О.А. Страдиной [203] и др. Изучением вопросов загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова городов Лысвенско-Чусовской промышленной агломерации Пермского края с развитым металлургическим производством занимались Н.Г. Максимович [150], Е.А. Ларионова [141], М.А. Шишкин [228]. Город Чусовой является одним из центров металлургического производства в Пермском крае. Вода и воздух в г. Чусовом загрязнены тяжелыми металлами [100, 179, 193]. Сведения о загрязнении тяжелыми металлами почвенного покрова города охватывают только поверхностный слой почв и не учитывают их генезиса. Ограничено количество изученных химических элементов, отсутствуют сведения о содержании в почвах редкоземельных и щелочноземельных элементов. Не выявлены фазы носители тяжелых металлов [64]. Техногенное загрязнение почв г. Чусового происходит в условиях природной геохимической аномалии Среднего Пре-

дуралья. В связи с этим актуальным является не только пространственное, но и внутрипрофильное изучение содержания тяжелых металлов.

В почвенном покрове города накапливаются тяжелые металлы за счет атмосферных выбросов шлака, золы, других отходов металлургического производства, привнесенных в почвы в виде средств ухода за дорогами и при создании почвогрунтов для газонов и клумб.

В монографии рассмотрена проблема загрязнения почв тяжелыми металлами, роль почвенных оксидов железа как важнейших фаз носителей тяжелых металлов. Описаны природные и антропогенные условия формирования почв г. Чусового. В главах 3 – 5 изложены результаты изучения состава и свойств почв, приведен анализ пространственного и внутрипрофильного распределения оксидов железа и тяжелых металлов, описаны методы диагностики загрязненных почв по содержанию магнитных оксидов, в том числе с использованием экспресс-методов определения магнитной восприимчивости. Дана оценка содержания тяжелых металлов в овощах, выращенных на приусадебных участках зоны малоэтажной застройки города.

Выражаем благодарность за предоставленную возможность в проведении совместных исследований и консультации доктору сельскохозяйственных наук, заведующему лабораторией химии почв ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН Ю.Н. Водяницкому. Признательны за помощь при выполнении экспериментальных работ и за обсуждение результатов исследований кандидату физико-математических наук, старшему научному сотруднику лаборатории химии почв ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН А.Т. Савичеву и доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры руднотермических процессов ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС» В.В. Коро-

вушкину, заведующей научно-исследовательской лабораторией ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА М.П. Усковой, директору ФГУ ГЦАС Пермский А.Т. Кайгородову. Благодарим за помощь в выполнении полевых исследований студентов агрохимического факультета Н.А. Дерр, В.Ю. Зуева, Д.Ф. Аликина, К.В. Заплатинскую.

ГЛАВА 1. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ ПОЧВАХ

1.1. Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами

До начала 80-х годов XX века активно изучалась проблема нехватки в почвах металлов-микроэлементов, которые входят в состав ферментных систем живых организмов [117, 123]. С возникновением избыточного содержания микроэлементов в природной среде проблема во многом, по мнению В.А. Большакова [21], утратила свою актуальность. Для территории городов, прилегающих к крупным металлургическим и промышленным центрам, проблема микроэлементов приобрела иной характер. В результате загрязнения почв металлами-микроэлементами угнетаются растения, деградируют биоценозы и создается токсическое действие на человека [78, 118, 176]. Микроэлементы – загрязнители выделяют как «тяжелые металлы» (ТМ).

К тяжелым металлам относятся свыше 40 элементов, имеющих атомную массу больше 50 [8]. В периодической системе Д.И. Менделеева они начинаются со Sc [160]. Наиболее распространенными тяжелыми металлами являются: Pb, Cd, Hg, Cu, Zn, Sn, V, Cr, Mo, Mn и Ni [167]. Нередко исследователи проводят совместное изучение тяжелых металлов и металлоидов в почвах, объединяя их в одну группу, которая охватывает 58 химических элементов с атомной массой свыше 50. В периодической системе элементов группа тяжелых металлов и металлоидов начинается с ванадия и заканчивается ураном [37]. Следует отметить, что металлоидами называют элементы, обладающие некоторыми свойствами, характерными для металлов и некоторыми свойствами, характерными для неметаллов. К металлоидам относят такие элементы, как As, F, Sb, Bi, Ge, Po и др. [226].

Д.В. Ладонин [139] предлагает называть формы соединений тяжелых металлов в почве совокупностью атомов или ионов химических элементов, которые обладают близкой

степенью подвижности в почве. А.П. Виноградов [30] считал, что понятие формы соединений химических элементов в почвах служит в основном для характеристики месторождений металлических руд.

Каждый из элементов, относящийся по своим характеристикам к тяжелым металлам, в почве имеет определенные особенности нахождения. Рассмотрим эти особенности по ряду распространенных поллютантов: Mn, Pb, V, Zn, Cr, Cu, Ni и As, относящихся по ГОСТу 174102-83 [60] к 1 – 3 классам опасности.

Значительная аккумуляция марганца (Mn) в верхних горизонтах почв связана с фиксацией этого элемента гумусовыми веществами [8]. Кларк марганца в почвах мира равен 850 мг/кг, а среднее содержание в суглинистых и глинистых почвах России составляет 475 мг/кг [30]. При этом значения концентрации могут колебаться от 270 до 1300 мг/кг. Уровень предельно-допустимой концентрации (ПДК) марганца в почвах составляет 1500 мг/кг [191]. По геологической классификации марганец – это сидерофил [214]. Оксиды марганца в почвах, являются фазами-носителями других тяжелых металлов [35].

Загрязнение почв марганцем особенно существенно вблизи цементных заводов. Марганец в почвах находится в виде двух-, трех- и четырехвалентного иона. Соединения марганца хорошо растворимы, особенно при кислой реакции среды. В почве марганец может замещать обменные основания – Ca^{2+} и Mg^{2+} , а в почвенном растворе образует комплексы с органическим веществом (в основном с фульвокислотами). С гидроксидами железа марганец образует железомарганцевые конкреции [110].

Из-за широкомасштабного загрязнения окружающей среды свинцом (Pb), верхние горизонты большинства почв обогащены этим элементом [8, 110, 207]. Кларк свинца в почвах мира составляет 10 мг/кг, а среднее содержание в

почвах суглинистого и глинистого гранулометрического состава России - 40 мг/кг [30]. Уровень ПДК по свинцу для почв равен 30 мг/кг [191]. Среднее содержание свинца в дерново-подзолистых почвах составляет 15 мг/кг [30]. По геологической классификации этот элемент – халькофил [214].

К основным источникам загрязнения почв свинцом относятся автотранспорт и цветная металлургия, при этом 11% от общих выбросов свинца – это производство железа, стали, ферросплавов [37]. В почвах свинец менее подвижен, чем другие тяжелые металлы. При нейтральной и щелочной реакции среды подвижность свинца значительно снижается [8, 207]. Свинец хорошо закрепляется органическим веществом почвы [266]. Кроме того, данный элемент в почвах хемосорбируется в форме фосфатов, гидроксидов и карбонатов. Свинец может активно связываться глинистыми минералами и полуторными оксидами [113]. Исследователи из США установили высокую положительную связь между содержанием свинца и железа в почвах [267].

В почвах с преобладанием подзолистого процесса наблюдается обеднение поверхностных горизонтов ванадием. В остальных почвах этот элемент равномерно распределен по профилю [207]. Кларк ванадия в почвах мира равен 100 мг/кг, а его содержание в суглинистых и глинистых почвах США в среднем 87 мг/кг [30]. Уровень ПДК по ванадию в почвах составляет 150 мг/кг [191]. По геологической классификации этот элемент входит в группу сидерофилов [214].

Поведение ванадия в почвах изучено мало. Известно, что ванадий хорошо ассоциируется органическим веществом. Этот элемент имеет высокую прямую связь с содержанием железа, что было установлено на почвах США [267]. Кроме этого существует прямая связь с содержанием калия и марганца в почве [113].

Наибольшие средние величины содержания цинка установлены для некоторых аллювиальных, каштановых почв и

солончаков, самые низкие для малогумусированных и органических почв [110]. Кларк цинка в почвах мира по А.П. Виноградову [30] 50 мг/кг, а его содержание в почвах России суглинистого и глинистого гранулометрического состава 35 мг/кг. ПДК этого элемента для почв - 100 мг/кг [191]. По геологической классификации цинк входит в группу халькофилов [214].

Основные источники загрязнения почв цинком, по данным Д.М. Расуна [268], – это цинкоплавильные заводы (60%). Так, в верхнем горизонте почвы на расстоянии 500 м от цинкоплавильного завода было обнаружено 14125 мг/кг цинка [110]. Цинк является наиболее растворимым элементом в почве. С гумусом этот элемент образует устойчивые соединения. Адсорбция цинка почвой зависит от pH. В щелочной среде цинк адсорбируется по механизму хемосорбции, а в кислой среде происходит катионо-обменное поглощение. При повышенной кислотности возрастает доля подвижного цинка [8]. Наиболее полно цинк адсорбируется оксидами железа. Не случайно в почвах США была установлена высокая связь цинка с содержанием железа [267].

Содержание хрома в почвах в основном определяется его содержанием в почвообразующей породе [113]. Кларк хрома для почв мира равен 200 мг/кг. Среднее содержание хрома в суглинистых и глинистых почвах России составляет 51 мг/кг [30]. Значения ПДК содержания валового хрома в почвах России не принято. Ю.Н. Водяницкий [37] предлагает установить ПДК для Cr 200 мг/кг. По геологической классификации хром является сидерофилом [214].

К основным техногенным источникам хрома относится металлургическая и химическая промышленность [207]. Хром поступает в почвы из рудных отвалов, феррохромового шлака, металлического лома и бытовых хромсодержащих отходов. В случае неполной очистки промышленных отходов элемент поступает в почвы в районе потребляющих хром за-

водов [37]. Основная часть хрома в почвах представлена трехвалентной формой. Хорошо связан в почве этот элемент с железом и марганцем в форме ортштейновых зерен [258]. В кислых почвах хром практически неподвижен, а при pH 5,5 выпадает в осадок [110].

Особенностью нахождения меди в почвах является аккумуляция в поверхностных горизонтах, вызванная техногенным воздействием на окружающую среду и биоаккумуляцией [207]. Кларк меди в почвах мира составляет 20 мг/кг. В суглинистых и глинистых почвах России среднее содержание 12 мг/кг [30]. ПДК этого элемента для почв составляет 55 мг/кг [191]. Минимальное содержание меди отмечается в песчаных почвах, а максимальное - в ферролитных [113]. По геологической классификации этот элемент относится к группе халькофилов [214].

В почвах медь в основном содержится в валовой форме и является малоподвижным элементом. Подвижная медь представлена двухвалентным катионом. Основная часть меди в почвах связана с оксидами железа и марганца. При этом медь теснее ассоциируется с марганцем, чем с железом. Гуминовые кислоты образуют с медью устойчивые полимеры. При щелочной реакции среды наблюдается наименьшая растворимость меди [8].

Содержание никеля в почвах в основном зависит от насыщенности этим элементом почвообразующих пород. Однако часто уровень никеля в почвах связан с масштабами техногенного загрязнения [113]. Кларк никеля в почвах составляет 40 мг/кг, а его среднее содержание в суглинистых и глинистых почвах России 24 мг/кг [30]. Уровень ПДК никеля в почвах соответствует значению 85 мг/кг [191]. По геологической классификации тяжелых металлов никель относится к группе сидерофилов [214].

Никель попадает в почву за счет промышленных выбросов и при сжигании топлива. Высокое содержание никеля от

2000 до 10000 мг/кг имеют городские осадки сточных вод и гальваношламы [187]. Никель в почвах образует соединения с органическим веществом в формах легкорастворимых хелатов. Внутрипрофильная миграция никеля происходит в двухвалентной форме. Следует отметить, что до 30% никеля в почвах связано с оксидами железа и марганца [207].

Соединения мышьяка – арсенаты легко фиксируются органическими и минеральными компонентами почв [110]. Кларк мышьяка в почвах мира по А.П. Виноградову [30] составляет 5 мг/кг. Минимальная концентрация мышьяка установлена для песчаных почв. Его максимальные количества выявлены в аллювиальных почвах и в почвах, богатых органическим веществом [207]. ПДК мышьяка для почв России 2 мг/кг [191]. По мнению Ю.Н. Водяницкого [37], это значение занижено. Поэтому основная часть почв содержит мышьяк выше допустимого уровня. Автор предложил установить ПДК для As на уровне 10 мг/кг, что соответствует двойному значению кларка этого элемента. Содержание мышьяка в суглинистых и глинистых почвах США составляет 7,7 мг/кг [113], что превышает значения кларка и ПДК для почв России. По геологической классификации мышьяк входит в группу халькофилов [214].

Основным источником техногенного мышьяка являются мышьяксодержащие отвалы руды. Следует отметить, что одна тонна выбросов предприятий цветной металлургии содержит до 3 кг As [207]. В почвах мышьяк может находиться в трех- и пятивалентной форме. При этом мышьяк пятивалентный адсорбируется прочнее, чем мышьяк трехвалентный, и в целом As (V) является подвижным [243]. В кислых условиях (до pH 4,7) с увеличением pH растворимость мышьяка уменьшается, а при дальнейшем подщелачивании среды она возрастает [37].

Таким образом, с возникновением избыточного содержания тяжелых металлов в природной среде, проблема за-

загрязнения ими почв приобрела актуальность, а особенно в районе крупных промышленных центров. К наиболее распространенным металлополлютантам в почвах относятся: Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Pb и As. Для оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами часто используют значения кларка и ПДК. В то же время существует проблема отсутствия и несоответствия значений кларков и ПДК для некоторых элементов (Cr и As). Природные условия формирования почв и техногенные источники загрязнения разнообразны, в связи с этим большое значение имеют исследования региональных особенностей загрязнения почв тяжелыми металлами. Для почв городов Среднего Предуралья во многом эти вопросы рассмотрены не в полной мере.

1.2. Metallurgical production and the state of the environment

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями металлургии в год составляют как минимум 11% от всех выбросов загрязняющих веществ в Российской Федерации [152]. На многих предприятиях черной и цветной металлургии технологические процессы не всегда обеспечены надежными средствами очистки газовых выбросов, что приводит к загрязнению атмосферы вокруг них. При этом загрязненная атмосфера является основным источником поступления и накопления тяжелых металлов в почвах [212].

Тяжелые металлы, поступающие от металлургических предприятий, ухудшают биологические, химические показатели почвы и нарушают ее гомеостаз [142, 161]. В загрязненных металлургическим производством почвах происходит снижение аммонифицирующей и ферментативной активности [72, 104]. При загрязнении ТМ чернозема южного ухудшается структура, водный режим, увеличивается плотность, уменьшается общая пористость почв. В результате загрязнения происходит угнетение растений, что способствует усилению водной эрозии и дефляции почв [126]. При максималь-

ном химическом загрязнении почва утрачивает свои экологические функции [220].

По влиянию на химические показатели и микромицеты почв промышленное загрязнение Е.В. Лебедева [143] классифицирует на мягкое и жесткое. Например, загрязнение почв выбросами завода азотных удобрений относится к мягкому, а выбросы металлургического комбината - к жесткому. Е.Ю. Саев [189] выделил две группы предприятий – загрязнителей природной среды тяжелыми металлами: 1) предприятия с высокой концентрацией металлов в составе выбросов – заводы металлургии; 2) предприятия с невысокими концентрациями металлов в составе выбросов, но с очень большим объемом выброса – например, цементные заводы.

А.С. Яковлев [231], проведя оценку экологического состояния почв в районе горно-металлургического комбината «Норильский никель», отмечал нарушение минерализации органического вещества почвы. Г.М. Кашулина [119] это явление объясняет связыванием органического вещества тяжелыми металлами в комплексы, что приводит к замедлению разложения органического вещества, а также угнетению микроорганизмов и ферментов, участвующих в разложении опада.

При увеличении содержания тяжелых металлов происходит изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы. Повышенное содержание тяжелых металлов приводит к снижению содержания подвижных форм N/NO_3 , P_2O_5 и K_2O . В то же время было выявлено, что некоторые агрохимические свойства почв могут улучшаться, а, именно, снижается кислотность и увеличивается степень насыщенности почв основаниями [134].

В сфере воздействия металлургических заводов изменение химизма среды способствует изменению трофической структуры мезофауны и микробных сообществ, возрастает роль спороносных форм бактерий [154]. Установлено, что

дождевые черви реагируют на загрязнение почв металлургическим производством снижением своей численности и биомассы [166]. Г.А. Евдокимовой [89] было изучено влияние выбросов алюминиевого завода «Североникель» Мурманской области на почвенную биоту. При слабом загрязнении тяжелыми металлами (Zn, Cr, Ni) количество бактерий и актиномицетов увеличивалось. Выявлено негативное воздействие на сообщества почвообитающих беспозвоночных, снижение таксономического и трофического разнообразия, общей биоты и ее численности. В центре загрязнения нарушатся микробный гомеостаз, происходит ингибирование роста чувствительных видов микроорганизмов и их биологической активности.

Интенсивность воздействия предприятий металлургии отражается в четырех последовательных реакциях почвенных микроорганизмов: 1) Сохранение микробиологического гомеостаза; 2) Изменение структуры сообщества с сохранением состава; 3) Полная замена состава прежних микроорганизмов на сообщества устойчивые к высоким концентрациям химических веществ; 4) Подавление роста и развития микроорганизмов [74].

В загрязненных металлургическим производством почвах, при общем подавлении жизнедеятельности большинства микроорганизмов, появляются устойчивые к тяжелым металлам виды спороносных грибов [89, 90, 222]. Вблизи металлургических комбинатов преобладающие виды грибов являются сильными токсинообразователями, и поэтому тяжелые металлы косвенно, через почвенные организмы, вызывают токсикоз почв [142].

Угнетение растительности в зоне действия металлургических заводов происходит вследствие поступления большого количества тяжелых металлов из атмосферного воздуха и загрязненных почв [42, 110, 249]. По мнению Ю.З. Кулагина [137], металлургическая пыль обладает подщелачивающим

действием на листья растений. Загрязнение металлургической пылью приводит к увеличению нормы респирации, что установлено на примере растений пшеницы [27]. В результате у растений, выращенных на загрязненных тяжелыми металлами почвах, нарушаются циклы развития, происходит задержка или полное выпадение фенофаз [175]. Под воздействием техногенных массивов металлургических предприятий происходят глубокие отрицательные изменения в растительном покрове [224].

М.В. Пасыпановой [170] было установлено превышение допустимого уровня Pb, Cd, Cu и Zn на отвале литейного производства вблизи металлургического завода – «Литейное производство УБМ», что отразилось на состоянии растительности. Автор отмечает, что некоторая часть тяжелых металлов попадает в злаковые растения (кострец, мятлик, овсяница) через листовую поверхность из атмосферы. В корнях была обнаружена более высокая концентрация тяжелых металлов, чем в листьях. По данным Е.В. Каплуновой [114] и Р. Baumjohann [238], такие зеленые культуры, как листовая салат и капуста с большой площадью листовой поверхности способны активно накапливать тяжелые металлы из атмосферы. Тяжелые металлы в растениях, произрастающих на загрязненных почвах, обнаруживаются больше в вегетативной части, чем в репродуктивной [17]. Следует отметить, что в условиях постоянного загрязнения некоторые виды травянистых растений формируют металлоустойчивые популяции, образуя различные системы обеззараживания металлов внутри растений [131].

В надземной части сельскохозяйственных культур, выращенных на почвах в зоне выбросов предприятий цветной металлургии, обнаружено значительное накопление нитратов. Это явление, возможно, связано с усилением поглощения соединений азота растениями из загрязненных почв для де-

токсикации тяжелых металлов белками и аминокислотами [88].

Зерновые культуры, возделываемые на загрязненных металлургическим производством почвах, имеют низкое качество зерна, в их соломе накапливаются Fe, Zn и Pb [3]. Вблизи от металлургического предприятия было установлено максимальное снижение урожайности пшеницы на 12 ц/га по сравнению с фоновыми территориями [225]. Влияние предприятий черной металлургии в районе Донбасса отражается на увеличении степени засоренности посевов зерновых, также наблюдалось снижение клейковины и недоразвитость зерен в целом [96]. Исследования, проведенные в Болгарии, вблизи металлургического завода Пловдива, показали, что зерновые культуры по способности аккумулировать тяжелые металлы из почвы можно подразделить на умеренные (ячмень, рожь, тритикале) и сильные аккумуляторы (пшеница). Считается, что в таких районах выращивание зерновых культур возможно только для переработки зерна в спирт, а соломы - в целлюлозу [234].

На сельскохозяйственных угодьях, расположенных вблизи предприятий металлургической отрасли, может происходить снижение урожайности отдельных сельскохозяйственных культур в разной степени. Сильнее снижение урожайности наблюдается у бобовых и картофеля, а зерновые культуры на техногенное загрязнение почв реагируют меньшим снижением урожайности [114]. В районе промышленных выбросов металлургического комбината польского города Гута J. Cuzzydlo [247] установил, что у зерновых культур содержание тяжелых металлов в соломе больше чем в зерне, а у клубней картофеля в кожуре больше концентрация тяжелых металлов чем в мякоти. В петрушке, кормовой свекле концентрация тяжелых металлов значительно выше в листьях, чем в корнях и корнеплодах, так как металлополлютанты поступают в основном из атмосферы.

Опасность загрязнения почв пригородов металлургических центров заставила многих исследователей обратить внимание на качество получаемой там продукции [46, 110, 238]. Овощи, выращиваемые на агроландшафтах вблизи Череповецкого металлургического комбината, содержат Cd в количестве выше установленных значений ПДК [50]. На техногенно-загрязненных почвах отмечается повышенная концентрация нитратов в растениеводческой продукции [221]. В зоне влияния промышленного центра (г. Новотроицк Оренбургской области), состоящего из предприятий черной и цветной металлургии, Е.А. Важениной [27] установлено снижение содержания клетчатки, протеина и азота в томатах, огурцах и капусте и увеличение содержания сахара и зольности свеклы. Содержание тяжелых металлов в этих сельскохозяйственных культурах было выше ПДК.

Корма, полученные на угодьях в радиусе влияния предприятия металлургии, часто являются токсичными для сельскохозяйственных животных, а из-за потребления в пищу овощей, выращенных на приусадебных участках вокруг предприятий металлургической промышленности, создается опасность здоровью человека [46, 66, 254].

Высокое содержание тяжелых металлов в загрязненных Челябинским металлургическим комбинатом почвах оказывает влияние на биохимические показатели крови животных. У крупного рогатого скота отмечается повышенное содержание Co, Ni и Pb в крови, что вызывает токсикоз коров, влияет на обменные процессы и приводит к расстройствам желудочно-кишечного тракта [180].

По мнению Т.И. Емельяненко [93], накопление тяжелых металлов в почве и компонентов ландшафта является одним из факторов развития онкологических и других экообусловленных заболеваний человека. Так, чрезвычайная экологическая ситуация наблюдается в городе Магнитогорске Челябинской области, где функционирует крупное металлургиче-

ское предприятие – «Магнитогорский металлургический завод». В районе действия этого предприятия в воздухе была выявлена высокая приземная концентрация Fe, Zn и Pb, которые комплексно поступают в организм человека. За 5 лет, с 1991 по 1996 год, в городе вырос показатель смертности в 1,4 раза [9]. В объектах окружающей среды города (вода, воздух и почва) Магнитогорска содержатся высокие концентрации Fe, Si, Cd, Ni, Be, Pb, Cr, что, по мнению В.С. Кошкиной [133], определяет общий канцерогенный фон.

Загрязнение почвенного покрова металлургическим производством, по сведениям большинства авторов, происходит через атмосферу. Поток загрязняющих веществ в воздухе распространяется в виде металлоносных аэрозолей и в дальнейшем оседает на поверхность почвы [3, 50, 70, 153, 175].

В районе действия предприятий черной металлургии «Кремиковци София» в Болгарии выбросы аэрозолей, поступающие в поверхностные горизонты почв, по составу преимущественно марганцевые и свинцовые [208]. Также известно, что вблизи металлургических заводов на поверхности почв оседают аэрозоли с преобладанием сульфидов тяжелых металлов [57, 221]. В зоне действия металлургического производства большое влияние на экосистемы оказывают выбросы пыли [68]. По данным G. Borcka [239], металлургическая пыль может содержать около 52% Fe, 4% Mn и 0,02% Pb. По оценкам специалистов из США, ущерб сельскому хозяйству от загрязнения атмосферы за счет предприятий металлургии составляет 2 миллиарда долларов в год [248].

Металлургическая промышленность, по данным конца 70х годов XX века, выпуская 1 млн. тонн готовой продукции, может выбрасывать в атмосферу около 75 тонн пыли ежедневно. Металлургическая пыль имеет крупнодисперсный гранулометрический состав, и основная ее часть выпадает из атмосферы в почвы вблизи источника выбросов [85].

Особенности загрязнения почв металлами пылевых выбросов, по мнению В.А. Большакова [1993], таковы: 1) поступают через атмосферу поверхностно; 2) поток на почву обратно пропорционален расстоянию от источника выбросов; 3) обратный поток в атмосферу первоначально равен нулю; 4) все металлы – загрязнители сосредоточены в поверхностном слое почвы. В результате воздействия металлургических предприятий вокруг заводов образуются техногенные геохимические аномалии. Поскольку металлургические предприятия часто располагаются вблизи рудных аномалий, то возможно наложение техногенной аномалии на природную.

По определению А.И. Семячкова с соавторами [197], природная геохимическая аномалия – это участок поверхности земли, отличающийся существенно повышенными концентрациями каких-либо химических элементов или их соединений по сравнению с фоновыми значениями и закономерно распространенных относительно скоплений полезных ископаемых.

Вокруг предприятий металлургической отрасли происходит формирование локальных техногенных геохимических аномалий, которые характеризуются высоким содержанием тяжелых металлов в почве, неблагоприятной санитарной и экологической ситуацией [85, 208]. Большие объемы эмиссии поллютантов от предприятий металлургии поступают в окружающие ландшафты. В результате образуется полиэлементная техногеохимическая аномалия тяжелых металлов с одним центром и большой периферийной зоной [50].

По определению [57], техногенная геохимическая аномалия – это участок поверхности земли вблизи промышленных центров, где наблюдается техногенная аккумуляция веществ, представляющая собой накопление техногенных элементов на почвенно-геохимических барьерах в умеренно-подвижной и малоподвижной формах.

Ю.Г. Тютюнник [206], исследовав взаимосвязь концентраций металлов в атмосфере и почве, выявил достоверную корреляцию между средним многолетним содержанием металлов в городском воздухе и содержанием их в двухсантиметровом слое урбаноземов. В почвенном покрове вокруг металлургического комбината при аэротехногенном загрязнении установлено образование тонкого техногенного горизонта, где содержание Ni может достигать 7% [91].

Э.П. Махонько с соавторами [153] предложено в качестве критерия интенсивности загрязнения почв тяжелыми металлами из аэрозолей промышленных выбросов использовать время удвоения загрязнения почв. Атмотехногенная нагрузка изменяет почвенный профиль и приводит к формированию в верхнем слое почв контрастных техногеохимических аномалий [116]. Техногенные геохимические аномалии, оцененные по суммарному загрязнению, меньше в районах действия предприятий черной металлургии чем цветной. [111]. Площадь и конфигурация техногенных геохимических аномалий определяется аэротехногенным фактором, а именно - качеством очистных сооружений, высотой трубы, объемами производства [119].

Элементный состав аномалий вокруг предприятий черной и цветной металлургии различен. Так, в почвах вблизи предприятий черной металлургии чаще всего наблюдается загрязнение Pb, Mn, Zn, и в ряде случаев отмечается 10 – 100-кратное превышение фона Cu, V, Cr, Ni и Cd [111]. По данным Г.М. Кашулиной [119], в районе действия предприятия «Североникель» Мурманской области образовалась зона загрязнения Pb, As, Bi, Cu, Ag, Cd, Se, S, Sb, а центры черной металлургии образуют аномалии соединений Fe, Mn, Ni, Co, Cr и V. И.Н. Панин с соавторами [168] установил, что наиболее распространенным загрязнителем почв предприятиями черной металлургии Среднего Урала является Mn. По мнению М.А. Глазовской [57], воздействие выбросов предпри-

ятий черной металлургии выступает самостоятельным педохимическим активным процессом, так как кроме микроэлементов, в выбросах содержатся в большом количестве макроэлементы: S, Ca, Mg, Fe.

Известно, что цветная металлургия способствует наиболее высокому уровню аккумуляции в почвах Pb, Zn и Cu, а черная образует техногенные аномалии с преобладанием Ni, Mn и Pb [57]. По объему и составу выбросов черная металлургия, по мнению А.В. Хохрякова [217], более экологически опасная отрасль российской промышленности, чем цветная. Г.А. Гармаш [46] было установлено, что состав атмосферных выбросов цинкоплавильного завода обуславливает более высокий уровень и площадь загрязнения чем комбинат черной металлургии. Изменение содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве достоверно установлено в районе выбросов медно-никелевого комбината [71, 75].

Подробно на сегодняшний день изучен вопрос о масштабах геохимических аномалий в районах действия металлургических предприятий. Основным фактором содержания тяжелых металлов в почвах является расстояние от металлургического завода [26, 208, 221].

Площади загрязнения почв металлами в городах с металлургическим производством составляют сотни квадратных километров [101, 153, 168, 196, 231, 254]. Изучение загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами на различных расстояниях от источников выбросов металлургических предприятий выявило зоны максимального загрязнения почв. По сведениям разных авторов, они отличаются, но незначительно, и в целом составляют от 0,5 до 3 – 5 км от источника [58, 101, 110, 142, 254]. Е.В. Лебедева [142], Э.П. Махонько [153] считают, что это зона полной деградации лесной экосистемы. Ю.Л. Байкиным [14] выявлено, что в радиусе 3,5 км от предприятия «Среднеуральский медеплавильный завод» в г. Ревде Свердловской области наблюдается

ся чрезвычайно опасное и опасное загрязнение светло-серых лесных почв. Содержание тяжелых металлов в почвах трехкилометровой зоны вокруг Жезказганского горно-металлургического комбината Карагандинской области превышает ПДК от 100 до 5000 и более раз [2]. В сфере воздействия цинкового металлургического завода на севере Франции в радиусе 500 м сильно изрежена древесная растительность, почвенные организмы почти отсутствуют, а концентрация металлов в почвах достигает около 20000 мг/кг [250]. Почвы в районе выбросов комбината «Норильский Никель» на расстоянии 4 – 16 км от источника имеют содержание тяжелых металлов выше ПДК. Далее, в зоне 16 – 25 км, отмечается повышенное содержание, но ниже ПДК, а на расстоянии более 25 км от завода экологическое состояние природной среды соответствует естественному фоновому уровню [231].

Радиус воздействия на почвы вокруг Карабашского медеплавильного завода в Челябинской области, установленный Л.И. Смирновым [199], составляет 30 – 40 км. Е.В. Лебедева [142] считает, что зона, не нарушенная загрязнением, начинается только на расстоянии 75 км от этого крупного предприятия металлургии. По сведениям Б.А. Звонарева [101] и А.В. Корнилова [128], загрязнение почв предприятиями цветной металлургии ограничивается шестью километрами, а Н.М. Фатеева и Т.С. Сиволобова [210] фоновый участок черноземных почв в Оренбургской области определили на расстоянии 20 км от предприятия «Медногорский медно-серный комбинат». По данным Э.П. Махонько с соавторами [153], загрязнение черноземов и темно-серых лесных почв вокруг Челябинского цинкового завода наблюдается в радиусе 10 км. Также в этой десятикилометровой зоне было установлено, что доля металлов в почве составляет 10 – 30% от их выброса в атмосферу [19]. В районе выбросов Магнитогорского металлургического комбината в Челябинской области содержание тяжелых металлов сильно варьирует на

разных участках в зависимости от расстояния до источника выбросов. Установлено, что содержание валового железа в почвах возле комбината больше в 5- 10 раз по сравнению со средним его содержанием в почвах России [65].

Одним из объектов техногенного воздействия на почвенный покров являются места складирования отходов обогащения шлама и хвостохранилищ, которые содержат целый комплекс тяжелых металлов. Наиболее характерные из них: Cu, Zn, Fe, Mn, Cr, Bi, Ti, Pb, Ni, As, Mo и V [69]. Л.В. Плющ и Е.В. Елдина [175] при исследовании загрязнения территории складирования токсичных отходов ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова» Свердловской области установили негативное влияние шлаков металлургического производства на химический состав новообразованных почв. В почвах были обнаружены Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, V и Mn в превышающих ПДК количествах. Почвы и грунты, расположенные в пределах техногенно-измененных ландшафтов, по значениям суммарного показателя загрязнения (СПЗ) соответствуют весьма опасной, опасной и реже умеренно опасной категориям загрязнения [69].

Чтобы оценить масштабы и характер техногеохимической аномалии вокруг предприятий металлургической отрасли, необходимо учитывать особенности и пути поступления химических элементов в почвы. Известно, что нагрузка на почвенный покров бывает природной и техногенной. Природная нагрузка определяется химическим составом почвообразующих и подстилающих пород. Источником техногенной нагрузки является поток загрязняющих веществ из атмосферы в виде пыли, дымовых выбросов и аэрозолей, разносимых ветром на большие расстояния [197].

Таким образом, исследованиями разных авторов установлено, что масштабы и характер техногенных геохимических аномалий вокруг действия металлургических предприятий различны, что определяется объемами и составом вы-

бросов в атмосферу, мощностью производства, видами выпускаемой продукции и другими факторами. Однако, особенности загрязнения тяжелыми металлами почв разного генезиса, прилегающих к одному металлургическому предприятию, рассмотрены не в полной мере.

1.3. Закрепление и поведение тяжелых металлов в загрязненных почвах

Почва для тяжелых металлов является емким акцептором [8]. Попав в почву, металлы прочно связываются с гумусовыми веществами, образуя труднорастворимые соединения, входят в состав поглощенных оснований, глинистых минералов, а также мигрируют в составе почвенного раствора по профилю [127]. Уровень накопления тяжелых металлов в почве зависит от ее типа и факторов почвообразования [55, 110, 204].

Нахождение тяжелых металлов в почве зависит от их способности к образованию комплексных соединений гидроксидов и труднорастворимых солей [77]. При поступлении в почву от источников загрязнения тяжелые металлы взаимодействуют с твердой фазой и различными компонентами почвенного раствора, в связи с чем происходит связывание тяжелых металлов. Существуют следующие механизмы связывания: ионный обмен, изоморфные замещения, комплексообразовательная сорбция и осадочная сорбция [113]. Закрепление тяжелых металлов происходит в результате процессов адсорбции твердой фазой почв, образования труднорастворимых соединений металлов, фиксация оксидами Fe, Mn, S, Al, поглощение почвенной биотой [262]. Уровень накопления металлов в почвах зависит от химического состава почвообразующих пород, концентрации металлов и содержания гумуса, восстановительной и поглощающей емкости почв [182].

Тяжелые металлы содержатся в почвах в водорастворимой ионообменной и не прочно адсорбированной формах. Водорастворимые формы представлены хлоридами, нитрата-

ми, сульфатами и органическими комплексными соединениями [147, 174].

Концентрация тяжелых металлов в почвенном растворе является наиболее важной экологической характеристикой почвы, поскольку определяет миграцию тяжелых металлов по профилю и поглощение их растениями [22]. Тяжелые металлы, содержащиеся в гуминовых кислотах, фиксированных на высокодисперсных частицах почв, являются особой миграционной формой металлов, играющей важную роль в формировании массопотоков, мигрирующих в составе твердого стока. Фиксация комплексных соединений металлов с гуминовыми кислотами на высокодисперсных минеральных компонентах почвы является частью глобального механизма регулирования массообмена металлов в биосфере [83].

Подвижные формы тяжелых металлов концентрируются в основном в верхних горизонтах почв, где содержится много органического вещества и активно идут биохимические процессы. В составе органических комплексов тяжелые металлы обладают высокой мобильностью [110]. С помощью математического моделирования Н.Е. Кошелевой [132] получена информация об условиях и факторах, контролирующей подвижность тяжелых металлов. Установлено, что подвижность Mn и Cu в почвах определяют в основном органоминеральные соединения. Щелочные условия способствуют уменьшению содержания подвижных форм Zn, Pb, Ni.

В условиях антропогенного загрязнения тяжелые металлы попадают в почву в форме солей нерастворимых и растворимых в воде, а также в форме оксидов [59]. При поступлении в почву небольшая часть тяжелых металлов переходит в почвенный раствор и может вымываться грунтовыми водами. Остальная часть закрепляется вторичными глинистыми минералами, полуторными оксидами и органическим веществом [81, 138]. Глинистые минералы наиболее интенсивно фиксируют элементы, имеющие небольшой ионный радиус и

в основном поглощают Ni, Cu, Cr, Zn [81]. В гранулометрических фракциях размером от 0,5 до 0,25 мм максимально концентрируются Cu и Zn [185]. Тяжелые металлы также могут сорбироваться почвой с образованием сложных отрицательно заряженных комплексных соединений [257].

Гумусовые горизонты почв являются основными накопителями техногенно-поступающих тяжелых металлов [209]. Тяжелые металлы закрепляются органическим веществом в формах: солей с гумусовыми кислотами; как адсорбенты гумусовых кислот; в форме комплексных солей с гумусовыми кислотами; в составе неразложившихся и полуразложившихся растительных и животных остатков; в металлорганических соединениях, в виде хелатов, протеногенных аминокислот, полифенолов [4, 157].

Адсорбируясь гумусом, тяжелые металлы замещают водород и активно связываются с карбоксильными и фенольными группами [20]. В результате образуются сложные комплексные соединения с органическим веществом [57]. Hg, Sn и Pb образуют наиболее устойчивые соединения с гумусом. Соединения слабой устойчивости образуют Zn и Cd. Почти не закрепляются гумусом Mn и Cr [209]. По данным Т.А. Трифионовой [205] и других исследователей, гумусовые горизонты не являются эффективными как барьер по отношению к тяжелым металлам в системе «промышленные отходы – почва», и не прекращают техногенную миграцию ТМ в нижележащие горизонты.

При наличии благоприятных почвенных условий – высокое содержание гумуса и низкая кислотность – тяжелые металлы, за исключением Cd, хорошо закрепляются почвенными частицами, переходя в неподвижное состояние [235].

В районе действия предприятий металлургии почва выступает геохимическим барьером по отношению к выбросам [196]. В профиле загрязненных почв тип распределения тяжелых металлов определяется в основном не почвообразова-

тельным процессом, а техногенным потоком из воздуха [46]. Особенности профильного распределения тяжелых металлов зависят от ряда физико-химических свойств почв, а именно от рН, гранулометрического состава, содержания органического углерода, суммы обменных оснований, удельной поверхности и буферности [169]. Н.Г. Зыриным и Н.А. Чеботаревой [103] установлено, что чем выше емкость катионного обмена, тем большее количество катионов тяжелых металлов может содержать почва.

Основная часть тяжелых металлов, выпадающих вблизи металлургических предприятий, сосредотачивается на глубине от 5 до 40 см [127, 208, 279,]. По данным Н.А. Киприянова [120], в загрязненных металлургическим производством почвах тяжелые металлы проникают обычно на глубину более 0,2 м, а при сильном загрязнении до - 1,6 м. Внутрипрофильное распределение тяжелых металлов происходит в результате горизонтальной и вертикальной миграции почвенной влаги [218].

Распределение тяжелых металлов по профилю почв также определяется особенностями почвообразовательного процесса и амотехногенеза [146]. Под влиянием подзолистого процесса Mn в почвенном профиле распределяется по аккумулятивному типу, Zn, Cu и Cd - по аккумулятивно-элювиально-иллювиальному [232]. В подзолистых и дерново-подзолистых почвах средней тайги Западной Сибири распределение тяжелых металлов происходит по элювиально-иллювиальному типу [98].

Распределение элементов по генетическим горизонтам светло-каштановой почвы отражают закономерности миграции тяжелых металлов по профилю. Свинец наиболее сильно поглощен в иллювиальном горизонте и материнской породе, а Zn накапливается в верхней части профиля. При совместном присутствии Zn и Pb наблюдалось увеличение количества поглощенного Pb и более равномерное распределение его

по профилю [16]. Исследованиями П.В. Елпатьевского [92] было установлено, что при атмотехногенном загрязнении окружающей среды в почвах, Cu, Pb и Fe тяготеют к высокомолекулярным водорастворимым органическим веществам, что определяет их повышенное содержание в иллювиальном горизонте, а Zn, Cd и Mn связаны со среднемолекулярными водорастворимыми органическими веществами, из-за чего они частично выносятся из почвенного профиля. Основным механизмом миграции тяжелых металлов из верхнего слоя почвы является образование органоминеральных комплексов металлов с последующей их внутрипочвенной миграцией с раствором.

Подвижность тяжелых металлов также зависит от кислотности почв. При pH 4 наиболее подвижны Pb и Hg, значения pH от 4,5 до 5 способствуют подвижности Cu и Cr. Максимальную подвижность при pH от 5 до 5,5 имеют Zn, Ni, Mn и Co, а Cd мобилен при pH 6,5 [245, 251]. В зоне действия производства по выплавке цинка в Японии установлено, что при понижении pH в почве возрастает концентрация обменных форм Cd, Zn и Pb [280]. Рост значений pH усиливает сорбированность катионообразующих металлов Cu, Zn, Ni, Hg, Pb и увеличивает подвижность анионообразующих металлов Mo, Cr, V. Усиление окислительных условий увеличивает миграционную способность металлов [125].

Таким образом, некоторая часть техногенных тяжелых металлов находится в подвижном состоянии в почвенном растворе, а часть переходит в неподвижное состояние, закрепляясь органическим веществом, глинистыми минералами и оксидами железа. Рассмотрим более подробно значение в этом процессе оксидов железа. Техногенный оксидогенез железа играет особую роль в массопотоке тяжелых металлов.

1.4. Оксиды железа как адсорбенты и носители тяжелых металлов в почве

Одним из важнейших химических элементов в почве является железо. Его накопление связано с выветриванием первичных минералов почвообразующих пород, а различия содержания железа в породах обусловлено составом железосодержащих минералов [102]. Их классификации подробно рассмотрены в работах Ю.Н. Водяницкого [34], А.В. Иванова [105].

Оксиды железа в почвах отличаются простотой своей структуры от других минералов (например, алюмосиликатов) и являются значительной частью механизма регуляции массопотока тяжелых металлов в глобальной системе циклов их миграции. Поэтому концентрация тяжелых металлов в оксидах железа может в десятки раз превышать среднее их содержание в земной коре. В почвах эти минералы представлены магнетитом, маггемитом, гетитом, гематитом, лепидокрокитом, ферригидритом, ферроксидитом [33, 38]. Выявлена роль отдельных минералов в фиксации тяжелых металлов.

Гетит (FeOOH) является одним из самых распространенных оксидов железа, имеет желтую окраску, образует столбчатые и игольчатые кристаллы [102]. Плотность минерала составляет $4,37 \text{ г/см}^3$ [271]. Часто распространено замещение в структуре гетита Fe на Al, а менее распространено Fe на Mn. При этом содержание Mn в гетите не более 0,07% [34]. Исследования, проведенные G.W. Brummer [244], показали, что адсорбция гетитом тяжелых металлов (Ni, Zn и Cd) увеличивается во времени, с ростом значений pH и температуры.

Гематит ($\alpha \text{ Fe}_2\text{O}_3$) характеризуется различной структурой минеральных агрегатов [102]. Этот железистый минерал широко распространен в почвах Предуралья [39]. Гематит имеет плотность $5,26 \text{ г/см}^3$ [271]. Строение частиц ромбоэдральное. В гематите распространено изоморфное замещение

Fe на Ti. Оксиды гематита Fe_2O_3 и ильменита FeTiO_3 относят к одному структурному ряду. Также возможны замещения Fe на Al. В гематите замещение железа ионами тяжелых металлов менее возможно, чем в гетите [38].

Ферригидрит ($2,5\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 4,5\text{H}_2\text{O}$) по структуре похож на гематит и имеет красно-бурую окраску [102]. В.А. Дриц и другие [86] считают, что ферригидрит представляет смесь структурно-упорядоченного и дефектного ферригидрита и ультрадисперсного гематита. Минерал имеет плотность $3,96 \text{ г/см}^3$ [271]. С.Е. Martinez с соавторами [260] установили, что при совместном осаждении с Fe происходит выпадение Cu^{2+} , Pb^{2+} и Zn^{2+} в решетке ферригидрита. Содержание ферригидрита связано с высоким содержанием органического вещества и высоким уровнем поступления железа. Большое количество сорбционных мест с большой удельной поверхностью у ферригидрита способствуют непрочному закреплению тяжелых металлов [36].

Магнетит (Fe_3O_4) и *маггемит* ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) похожи по строению структур. Магнетит и продукт его окисления маггемит наиболее распространены в красноземах. Литогенный магнетит в почвах часто ассоциирован с педогенным и маггемитом [33]. По данным Г.В. Мотузовой [160], в магнетит изоморфно входят Ti, Mn, Cr, Co, Al, Zn, Mo, Cu, Ga, а по сведениям R.L. Mitchell [265], к основным элементам, входящим в состав магнетита, относятся Zn, Co, Ni, Cr, V.

По сведениям М.Д. Крыловой с соавторами [136], в магнетите происходит замещение двухвалентного железа на Mn, Ti, Ni, а трехвалентное железо замещается на V и Cr. Ni в магнетите образует зону концентрации в виде вкраплений феррита никеля [272]. В загрязненных промышленностью почвах наблюдается повышенное содержание техногенных форм магнетита-маггемита.

Наиболее важным свойством минералов железа Ю.Н. Водяницкий и В.В. Добровольский [38] считают их способ-

ность взаимодействовать с тяжелыми металлами. Оксиды железа участвуют в химических реакциях с металлами в природных условиях и в условиях техногенного загрязнения почв. В результате тяжелые металлы фиксируются в почвах соединениями железа [216, 264]. Гидрооксиды железа и марганца активно участвуют в процессах закрепления тяжелых металлов в почвах [82]. Поэтому наиболее прочно тяжелые металлы удерживаются оксидами и гидроксидами металлов [209]. По результатам статистической обработки установлена связь между содержанием тяжелых металлов с гидроксидами железа [273]. В гидроксидах железа могут аккумулироваться металлоорганические соединения, которые образовались при связывании тяжелых металлов с органическим веществом [125].

Оксиды железа участвуют в иммобилизации тяжелых металлов, так как имеют высокий кларк и являются термодинамически нестабильными соединениями в почвах [82]. По данным F.N. Ponnamperuma [269], соосаждение оксидов железа с другими элементами связано со сходством химических свойств и радиусом ионов, что позволяет минералам железа сорбировать металлы из суспензии.

Физическая, специфическая и химическая адсорбция – это основные механизмы поглощения тяжелых металлов оксидами железа [160]. Сама адсорбция в почве тяжелых металлов оксидами железа В.В. Добровольским и Ю.Н. Водяницким [38] рассматривается как концентрирование растворенного вещества на поверхности частиц твердой фазы. Физическая адсорбция происходит при действии молекулярных (вандербальсовских) и электростатических сил.

Поглощение тяжелых металлов железистыми минералами зависит от вида минерала, степени его окристаллизованности, гидротированности и характера изоморфных замещений, морфологической формы минерала. При сравнении количеств металлов, десорбированных HNO_3 и реактивом

Тамма, можно сделать вывод о вкладе железистых минералов в поглотительную способность почвы по отношению к ионам металлов [140].

Тяжелые металлы, хемосорбированные оксидами железа за счет внутрисферного комплексообразования, не замещают катионы, которые не имеют специфического сродства к данным оксидам. Металлы, имеющие высокую степень сродства к оксидам железа, способны полностью замещать сорбированные ранее металлы [38]. С.С. Ainsworth [233], на основании экспериментальных исследований по кинетике взаимодействия тяжелых металлов с оксидами железа, пришел к выводу, что Pb не проникает в глубину частиц оксида с течением времени.

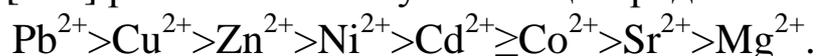
Образование специфических связей оксидов железа с тяжелыми металлами М.В. McBride [261] объясняет несколькими причинами: 1) замещение двух ионов водорода одним сорбированным ионом металла; 2) оксиды железа имеют высокую специфичность к тяжелым металлам; 3) в результате адсорбции наблюдается изменение поверхностного заряда оксидов.

Прочнее адсорбируются на поверхности оксидов железа те тяжелые металлы, у которых крупнее размер иона, но при этом крупный радиус препятствует дальнейшей диффузии металла вглубь твердой фазы. Так, из тяжелых металлов наиболее активное взаимодействие с оксидами железа проявляют: Sc, Cd, Co, Zn, Ni, Cu и V [38]. Образование природно-легированной руды в составе почвенных оксидов железа наблюдается, по данным В.В. Добровольского [80], при повышенной концентрации Ni, Co, V и Cr. Г.В. Мотузова [160] приводит данные, указывающие на то, что половина Cu и Zn, содержащихся в иле, может удерживаться оксидами железа.

Сорбционная способность железистых минералов по отношению к катионам определяется наличием на их поверхности рН зависимых отрицательных зарядов. Если рН ниже

изоэлектрической точки, то происходит смена заряда оксида на положительный и адсорбируются анионы, что было установлено на опытах со Pb, где поглощение его гидроксидами железа возрастало с ростом значений pH [56]. По данным А.А. Понизовского [177], полное поглощение ионов Pb (II) оксидами железа происходит в интервале pH от 3,5 до 5,5. Соединения, в составе которых Pb находится на поверхности оксидов железа, относят к поверхностным внутрисферным комплексам. При этом оксиды железа являются наиболее селективным сорбентом для свинца. Так, изотерма поглощения свинца на гетите описана с помощью физической модели, которая демонстрирует распределение зарядов в двойном электронном слое вблизи заряженной поверхности. Обменное или необменное связывание свинца происходит при взаимодействии с оксидами и гидроксидами железа вследствие проникновения ионов в межплоскостные промежутки смектиков.

Адсорбция тяжелых металлов обменными центрами во многом зависит от степени насыщенности ионами водорода [173]. Сильная зависимость между склонностью металлов к гидролизу и их способностью адсорбироваться оксидами и гидроксидами была установлена М.В. McBride [261]. Так, тяжелые металлы по сродству к гидроксидам железа по D.C. Kinniburgh [253] расположены в убывающий ряд:



Убывающий ряд степени гидролиза катионов по Д.А. Князеву [122] следующий:



Адсорбированные оксидами железа тяжелые металлы через некоторое время переходят в окклюдированное состояние из-за дальнейшей их адсорбции [262]. Со временем прочность удерживания железистых минералов тяжелыми металлами возрастает из-за их диффузии внутрь твердой фазы [273]. Диффузия металла из внешних во внутренние позиции усиливается во времени с ростом температуры и увели-

чением концентрации металла в растворе. Тонкие частицы гидроксидов железа способны встраивать металлы в свою дефектную решетку, компенсируя при этом дисбаланс заряда [272]. По сведениям Д.Л. Пинского [173], содержание оксидов железа сильно влияет на селективность обмена тяжелых металлов. Данные, полученные Д.В. Ладониным [140], показывают, что прочно удерживаются железистыми минералами Cu и Cd, а наибольшее сродство к железистыми минералам наблюдается у Pb.

По мнению А.В. Иванова [105], ожелезнение поверхности земли можно рассматривать как одну из форм проявления техногенеза. Отходы металлургических производств входят в группу основных источников загрязнения почв техногенным железом, а техногенные оксиды железа представляют собой шарики, которые содержат магнетит и гематит [84]. Содержание оксидов железа в почвах, загрязненных металлургическим производством, на порядок выше, чем в незагрязненных. Это связано с вкладом сильномагнитных оксидов железа, поступающих из воздуха в виде пылевидных отходов металлургических производств.

Значительная часть техногенного железа в почвах представлена ферришпинелями, состав которых выражается формулой: $A_x B_x \dots Fe_n O_m$, где A, B... - ферриобразующие элементы. В группу ферриобразующих элементов входят следующие тяжелые металлы: Mn, Ni, Co, Cu, Zn, Cd. Также с ферримагнитными оксидами железа ассоциированы Cr, Sb, As, Hg. Часто встречаются ассоциации оксидов железа с ртутью, мышьяком, хромом и другими тяжелыми металлами [32].

Загрязнение почв техногенными оксидами железа изучалось зарубежными и отечественными исследователями в районе действия крупных металлургических предприятий. Исследования, выполненные в Польше, показали, что максимальное содержание сильномагнитных оксидов железа наблюдается в слое до глубины 20 – 25 см вблизи сталелитей-

ного завода [275]. Английские ученые выявили техногенное загрязнение магнетитом, основываясь на максимальных значениях магнитной восприимчивости [259]. При изучении Череповецкой техногеохимической аномалии, где загрязнение почв обусловлено, в основном, соединениями железа, а комбинат черной металлургии выбрасывает пыль, О.Б. Роговой [184] было установлено, что она на 30 – 70 % состоит из оксидов железа.

Таким образом, оксиды железа в почвах, наряду с гумусом и глинистыми минералами, являются мощными поглотителями для тяжелых металлов. Железистые минералы способны длительное время удерживать металлополлютанты. Повышенное содержание техногенных оксидов железа в почве – это характерная черта загрязнения территории металлургическим производством, что служит основанием для некоторых методов диагностики загрязнения почв тяжелыми металлами.

1.5. Методы диагностики почв, загрязненных металлургическим производством

На сегодняшний день существуют различные методики изучения состояния почвенного покрова, в связи с его загрязнением тяжелыми металлами.

Биологический метод оценки называется биоиндикацией. Он основан на выявлении биологически и экологически значимых нагрузок с помощью специфических реакций живых организмов и их сообществ [215]. Е.И. Андреюк [10] под методом биоиндикации понимает определение антропогенной нагрузки по реакции биотестов и изменению некоторых биологических свойств почвы.

При почвенно-экологическом мониторинге, проведенном в Карелии в зоне воздействия Костомукшинского горнообогатительного комбината, М.В. Медведева [154] рекомендует обязательное использование методов биологической диагностики загрязнения почв. Достаточно информативными

являются реакции мхов, лишайников и древесных растений [47, 158, 213].

Изучение почвенных микроорганизмов также является информативным методом [143, 236]. Например, были проведены исследования влияния выбросов Ni, Cr и Co комбината цветной металлургии «Североникель» Кольского полуострова на микромицеты почв. Реакция микромицетов проявилась в изменении их видового состава [142].

Исследования биологической активности и фитотоксичности почв вокруг предприятия «Среднеуральский медеплавильный завод» (СМЗ) Свердловской области показали их линейную зависимость от уровня загрязнения [14]. Биоиндикация загрязнения почв, проведенная А.С. Гусевым [73], не выявила существенной корреляции между биологической активностью, состоянием растительности и уровнем загрязнения почв в районе действия СМЗ.

Для мониторинга загрязнения территории тяжелыми металлами объективной является методика оценки загрязнения снежного покрова [196]. Это связано с тем, что в снежном покрове можно обнаружить техногенную пыль, выпадающую из атмосферы от металлургических предприятий, которая впоследствии оседает на почве [175].

Выявление степени загрязнения основывается также на определении техногенных форм оксидов железа. Они являются носителями ТМ, и поступают в почву в составе выбросов предприятий. Суммарное содержание сильномагнитных соединений в почве отражает величина ее магнитной восприимчивости [13]. Ферромагнитные оксиды железа (магнетит, маггемит) составляют магнитную фракцию в почве, под которой понимается минеральная часть, извлекаемая постоянным магнитом [99]. Магнитная восприимчивость магнетита на два-три порядка выше, чем гематита, гетита и ферригидрита [159].

Большая часть пылевых выбросов металлургических предприятий состоит из оксидов железа, поэтому величина магнитной восприимчивости позволяет судить о техногенном загрязнении почв [211, 274, 278, 282]. Измерение магнитной восприимчивости – это экспресс-метод, дающий возможность в сжатые сроки без существенных затрат обследовать загрязненную тяжелыми металлами территорию. Эффективность измерения магнитной восприимчивости для диагностики уровней загрязнения почвенного покрова техногенными выбросами Череповецкого металлургического завода установили И.Г. Важенин с соавторами [26]. По результатам многочисленных измерений ими предложена следующая группировка значений удельной магнитной восприимчивости ($\chi \times 10^8$ м³/кг), которая отражает уровень загрязнения почв: 1) < 500 – слабая; 2) 500 – 1000 - существенная; 3) 1000– 2000 – средняя; 4) 2000 – 3000 – высокая; 5) > 3000 – очень высокая.

Однако не может существовать универсальных значений магнитной восприимчивости, которые бы свидетельствовали о загрязнении почв. Так же как и другие свойства почв, магнитная восприимчивость имеет свои региональные особенности и зависит от генезиса почв, источника и характера загрязнения почв тяжелыми металлами. В связи с этим требуется постановка и решение вопроса изучения магнитной восприимчивости, установления фоновых значений для каждой территории и конкретных зависимостей между загрязнением почв тяжелыми металлами и значениями магнитной восприимчивости. Каждый город имеет свою техногеохимическую специализацию, по этой причине актуальной проблемой для каждого региона является установление фоновых значений и выбор критериев оценки загрязненности почв тяжелыми металлами, в том числе с помощью измерения магнитной восприимчивости почв [172].

Анализ выполненных научных исследований показал, что проблема загрязнения почв тяжелыми металлами в рай-

оне действия металлургических предприятий остается изученной не в полной мере по нескольким причинам: 1) загрязнению подвергаются почвы различного генезиса, и при этом каждый тип почвы будет обладать своими особенностями аккумуляции и трансформации тяжелых металлов; 2) состав металлополлютантов в загрязненных почвах зависит от технологического цикла металлургического производства, сырья и ассортимента готовой продукции и других техногенных факторов и практически на каждой территории металлургического производства будет иметь свою специфику; 3) для оперативного контроля за загрязнением почв тяжелыми металлами требуется адаптация существующих методов диагностики с учетом региональных особенностей почвообразования; 4) техногенные геохимические аномалии могут накладываться на природные, что затрудняет объективную оценку загрязнения почв по установленным в законодательном порядке нормативам; 5) значительная часть исследований загрязнения тяжелыми металлами охватывает только поверхностные горизонты почвы и не учитывает внутривертикальное распределение металлополлютантов. Эти проблемы определяют выбор объектов и методику проведения наших исследований на территории г. Чусового Пермского края.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ ГОРОДА ЧУСОВОГО

2.1. Природные условия формирования почв города Чусового

Географическое положение. Город Чусовой Пермского края находится в 140 км к северо-востоку от краевого центра - города Перми на западном склоне Среднего Урала, на реке Чусовой, близ впадения в нее рек Усьвы и Вильвы. Географические координаты города: 58°30' северной широты и 57°83' восточной долготы (рис. 1). Площадь города с прилегающими поселками составляет 54 км².



Рис. 1. Географическое расположение г. Чусового на карте Пермского края [229]

Город Чусовой и подчиненные его администрации населенные пункты имеют численность населения 80 тыс. чел, а в самом г. Чусовом проживают 54 тыс. чел [229].

Климат. Территория города Чусового находится в пределах третьего агроклиматического района Пермского края [1]. Климат территории характеризуется как умеренно конти-

нентальный, переувлажненный. Сумма средних суточных температур воздуха за вегетационный период с температурами выше 10°C колеблется в пределах 1500 – 1700°C. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C равна 110 дням. Средняя продолжительность периода без заморозков колеблется от 100 до 110 дней. Средняя годовая температура воздуха составляет 0°C, при этом средняя температура января -16,5°C, а июля +16,5°C. Гидротермический коэффициент находится в пределах 1,6-1,8. Количество осадков за вегетационный период 200-250 мм, а среднегодовое - 600 мм. Промывной тип водного режима, сезонное глубокое промерзание способствуют элювиально-иллювиальной дифференциации профиля почв территории.

На территории г. Чусового 28% составляют в течение года дни, когда дует южный ветер. Преобладающими также являются юго-западный, северо-западный и юго-восточный ветра (16%, 14% и 13% дней в году, соответственно). Следовательно, в районе г. Чусового наблюдается в основном южное направление перемещения воздушных масс (табл. 1).

Таблица 1. Направление ветра в январе, июле и среднегодовое по данным метеостанции Кын, в % от числа наблюдений

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Январь	5	3	9	16	41	17	4	5
Июль	12	11	11	12	14	9	9	22
Год	7	5	9	13	28	16	8	14

С учетом господствующего направления ветров наибольшему аэральному загрязнению подвержены территории микрорайонов, расположенных севернее ОАО «ЧМЗ»: микрорайон Старый город, микрорайоны Красный поселок, Лисьи гнезда, а в меньшей степени аэральному загрязнению подвержены почвы территории поселка Антыбары и микрорайона «Новый город» (рис. 2).

Рельеф. Территория города Чусового и его окрестностей расположена на границе двух геоморфологических стран: Восточно-Европейской равнины и Складчатого Урала [149]. Левобережная часть города расположена в пределах Лысьвенско-Тулумбасской возвышенной равнины, относящейся к геоморфологической области Предуральской равнины и кряжей. Лысьвенско-Тулумбасская равнина характеризуется крупно-увалистым и увалистым рельефом. Высоко поднимающиеся покрытые лесом вершины некоторых увалов придают местности гористый облик. Склоны в основном крутизной $1 - 3^\circ$ [227]. Правобережная часть города и северные окраины примыкают к геоморфологической области западных увалистых предгорий Урала, которая представляет волнисто-холмистую эрозионную предгорную равнину.

Предгорья являются естественной границей для северных и местных ветров и определяют застой воздушных масс в долинах рек Чусовой и Усьвы. Для долин рек Чусовой, Усьвы и Вильвы характерно двухъярусное строение. Узкие молодые долины рек неоген-четвертичного возраста глубоко врезаны и отличаются крутыми склонами. Древние долины имеют более пологие склоны и поверхности последних незаметно переходят в пологохолмистые поверхности междуречий. На левом берегу реки Чусовой хорошо прослеживаются три надпойменные террасы. Значительные относительные превышения, нередко со скалистыми обрывистыми склонами и вершинами, и относительными превышениями до 100 - 150 метров, приурочены к берегам р. Чусовой [148].

Территория города имеет неоднородный и, с точки зрения аэрального загрязнения окружающей среды, неблагоприятный рельеф. Отвал металлошлаков, ОАО «ЧМЗ» и примыкающие к ним жилые кварталы расположены в естественной котловине, образованной долинами рек Усьва и Чусовая и ограждены с северной стороны увалами горно-складчатого Урала (рис. 2).

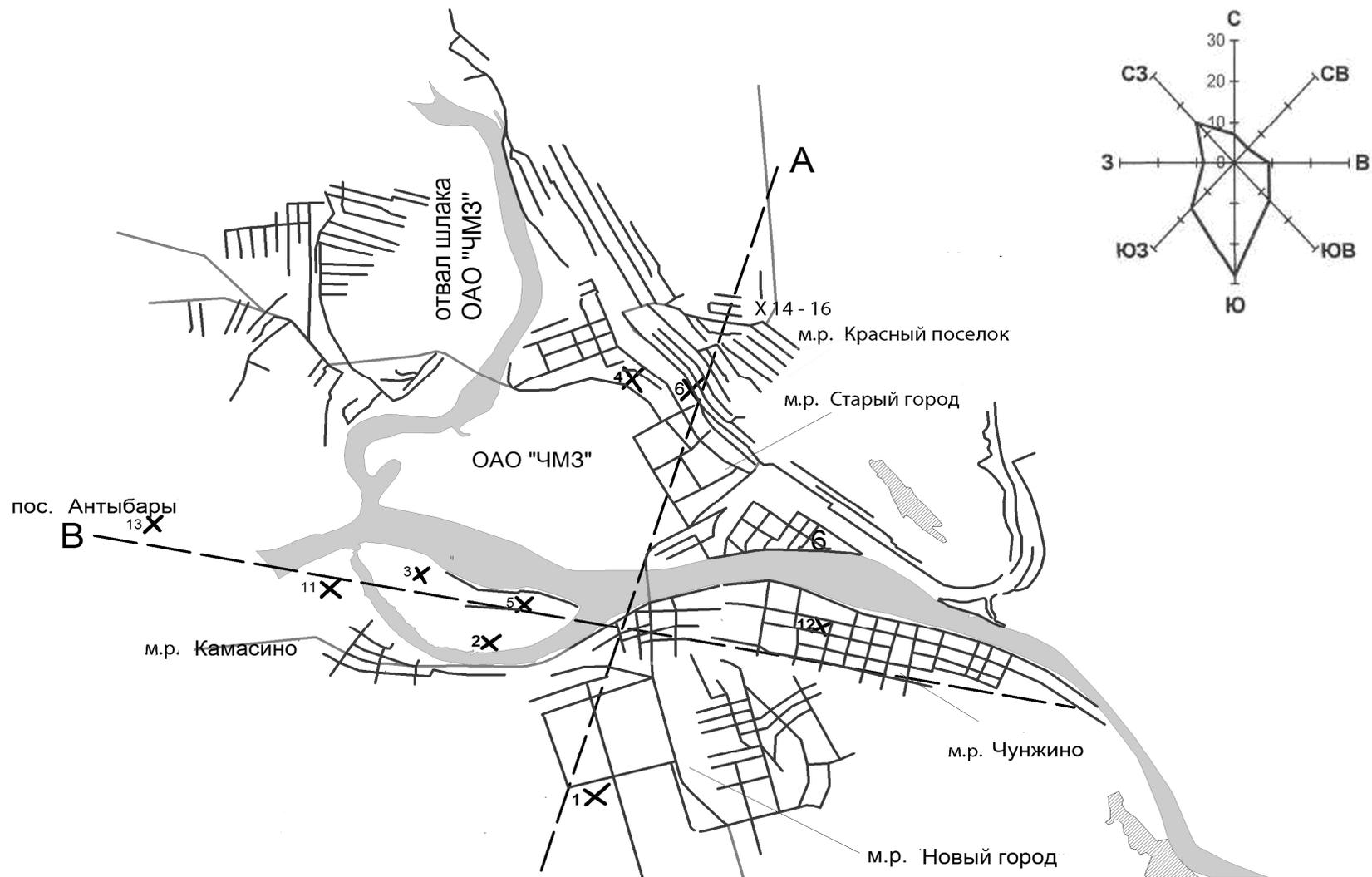


Рис. 2. Схема расположения основных разрезов на территории г. Чусового. × - номера разрезов

Растительность. Территория Чусовского района расположена в пределах южной тайги. Основным типом естественного растительного покрова для лесопарков города Чусового и его окрестностей являются еловые и елово-пихтовые леса с примесью кедра и лиственницы, сосны, можжевельника и рябины. На песчаном сухом каменистом субстрате развиваются сосновые боры. Наряду с этими первичными комплексами довольно широко распространены смешанные леса из ели, пихты, сосны, лиственницы, березы, осины и рябины в различных сочетаниях, представляя собой нередко вторичные группировки, возникшие при вмешательстве человека [165]. Относительно небольшие площади в микрорайонах Еرزовка и Шибаново в понижениях надпойменных террас долины реки Чусовой заняты заболоченными лугами, травянистыми и моховыми болотами.

Для озеленения территории города используются древесные породы: тополь, клен, береза, рябина. В микрорайоне Старый город древесные насаждения в скверах и на улицах представлены в основном тополем, липой и кленом. Для создания травосмесей газонов, как правило, используют злаковые многолетние травы, а именно: мятлик луговой, овсяницу красную, райграс пастбищный.

На уплотненных участках внутридворовых территорий многоэтажной застройки травянистая растительность сильно изрежена или отсутствует вообще. Древесные породы в непосредственной близости к заводу угнетены, наблюдается раннее отмирание и сбрасывание листьев. В микрорайоне Новый город внутри жилых кварталов сохранились мало трансформированные участки пихтово-елового и сосново-елового леса площадью 0,5 – 7 га.

Геологическое строение территории связано с образованием Уральских гор. Чусовской район расположен на восточной окраине Русской равнины и занимает часть территории Вишерско-Чусовского Урала – одного из регионов

Уральской горной физико-географической страны [201]. В тектоническом отношении район представляет собой стык Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости. Коренные породы, подстилающие четвертичные отложения в районе города Чусового, представлены отложениями уфимского и кунгурского яруса пермской геологической системы. Они сложены в основном известняками, мергелями, гипсами, доломитами, ангидритами, алевролитами и сланцами [49].

Для сравнительной характеристики химического состава коренных пород г. Чусового нами были использованы данные химического состава коренных пород заповедника Басеги, расположенного в 74 км на северо-восток от г. Чусового [44], региональные кларки [45] и кларки земной коры [31]. Химический состав горных пород, подстилающих почвы в районе хребта Басеги, характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов по сравнению с региональными кларками для пород Урала [45]: Ni 24; Cr 110; Ba 610 мг/кг. Следует отметить, что региональные кларки по сравнению с кларками земной коры [31] имеют более низкие значения содержания тяжелых металлов. Концентрация элементов в алевролите северо-восточных окрестностей г. Чусового (разрез 14) выше значений кларков по Г.А. Вострокнутову [45]: Ni - в 3,1; Cr - в 2,3; Mn - в 1,3; Zn - в 1,5; Pb - в 2,2; Sr - в 1,3 раза, а концентрация микроэлементов в известковом алевролите (разрез 1) по отношению к региональному кларку еще выше: Ni - в 6,8; Cr - в 4,3; Sr - в 1,8; Ba - в 1,7; Pb - в 1,6; Cu - в 1,2 раза. Это позволяет охарактеризовать территорию исследований как природную геохимическую аномалию по отношению к Ni и Cr (табл. 2).

Самыми молодыми отложениями на территории Чусового и его окрестностях являются четвертичные породы различного генезиса. Преобладают элювиальные и элювиально-делювиальные породы.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в коренных породах г. Чусового, мг/кг

Горные породы	Ni	Cr	Mn	V	Cu	Zn	Pb	Ba	Sr
Известковый алевролит (разрез 1, D, 130 – 140 см), г. Чусовой	136	130	410	-	58	60	16	254	269
Алевролит (разрез 14, С, 110 – 120 см), г. Чусовой	61	68	1015	-	44	90	22	-	189
Кварцито-песчаники, сланцы – заповедник «Басеги» [44]	24	110	740	43	44	60	9	610	100
Кларк для пород Урала по Г.А. Вострокнутову [45]	20	30	800	80	50	60	10	150	150
Кларк для земной коры по А.П. Виноградову [31]	58	83	1000	90	47	83	16	650	340

Примечание - означает отсутствие данных

У элювиальных отложений преимущественно глыбово-щебнистый состав и залегают они в виде пятен, приуроченных к вершинам водоразделов. Элювиально-делювиальные отложения имеют преобладающее распространение и сформировались на водораздельных пространствах долин современных рек и их склонах. Мощность этих четвертичных отложений очень непостоянна и колеблется от нескольких сантиметров до 20 метров [48].

В поймах рек почвообразование развивается на аллювии. Аллювиальные отложения в долине р. Чусовой и ее притоков состоят из песчано-глинисто-гравийно-галечных отложений, которые содержат глыбы, валуны и щебенку коренных пород. По сравнению с террасовыми, эти отложения характеризуются повышенным содержанием валунов и гальки [49].

Таким образом, терригенный фундамент территории города Чусового и окрестностей представлен в основном верхнепермскими отложениями уфимского яруса и нижнепермскими кунгурского яруса, а почвообразующими породами являются элювиально-делювиальные отложения, элювии коренных пород, древне-аллювиальные и аллювиальные отло-

жения. Характерна обогащенность коренных пород Ni, Cr, Sr и Ba.

Поверхностные воды. На территории г. Чусового и его окрестностей хорошо развита речная сеть, которая характеризуется многоводностью и представлена реками Чусовая, Усьва, Вильва, Вижай, а также множеством мелких речек [162]. На формирование аллювиальных почв г. Чусового большое влияние оказывает река Чусовая. Она имеет длину 592 км, уклон 0,4 м/км и протекает по Челябинской, Свердловской областям и Пермскому краю. В районе города река носит типично равнинный характер, русло расширяется местами до 300 м. Половодье длится с середины апреля до середины июня. За лето иногда бывает 6 - 7 дождевых паводков, при этом уровень воды может подниматься до 4 - 5 м [229].

Почвенный покров территории. По почвенному районированию Пермской области, выполненному Н.Я. Коротаяевым [130], западная часть Чусовского района относится к подзоне дерново-подзолистых почв Асовско-Кишертско-Лысьвенского почвенного района дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава с пятнами дерново-карбонатных почв. Этот почвенный район находится в пределах Вятско-Камской провинции южно-таежной подзоны дерново-подзолистых почв [41]. Восточная часть Чусовского района расположена в западно-предгорном районе тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв Горноуральского почвенного округа [130]. Позднее Т.В. Вологжанина с соавторами [41] эту территорию выделила как Уральскую горную почвенную провинцию.

На территории Чусовского района преобладают дерново-среднеподзолистые и дерново-сильноподзолистые тяжелосуглинистые почвы. Также небольшое распространение имеют почвы дерново-карбонатного типа. Почвы восточных окрестностей города Чусового в основном представлены дерново-сильноподзолистыми тяжелосуглинистыми.

Почвы на пашне имеют в основном неблагоприятные для культурных растений агрохимические свойства: низкое содержание подвижного фосфора и обменного калия, низкую сумму обменных оснований, кислую реакцию среды [41, 130].

Таким образом, природные условия территории города Чусового - близкое расположение к Складчатому Уралу, преобладание южного направления ветра, котловинообразное строение речных долин - способствуют застою воздушных масс на части территории города, прилегающей к ОАО «ЧМЗ» и аэральному загрязнению почв. Промывной тип водного режима, преобладание темнохвойных лесов, кислые почвообразующие породы определяют развитие подзолистого процесса и формирование в природных условиях в основном дерново-подзолистых почв.

2.2. Антропогенные условия формирования почв города Чусового

Краткая история города и завода. Территория города Чусового известна с XVI века, как поселок Камасино. История развития города неразрывно связана с развитием градообразующего предприятия ОАО «Чусовской металлургический завод». Завод основан в 1879 году Франко-Русским уральским акционерным обществом и заложен по французскому проекту. В то время Чусовской завод был представлен стоящими в ряд на берегу реки Чусовой цехами доменного и сталепрокатного производства, между которыми в конце XIX века пролегали внутривозовские улицы. В 1894-1898 гг. вводились в строй мартеновские печи, в 1894 г. был построен мелкосортный стан. Суточная производительность доменной печи была около шестнадцати тонн чугуна. Позже, в 1931 году, Чусовской завод стал работать по полному металлургическому циклу: выплавка чугуна и стали, производство проката, выпуск готовых металлоизделий. Одновременно с возведением цехов шло строительство заводского поселка. Он рос

без плана, полукругом охватывая с севера строительную площадку завода и занимая отроги горы, позднее получившей название «Больничной» (сейчас микрорайон Старый город, ул. Школьная - Переездная). Неблагоприятной была экологическая обстановка. Предгорья Урала, окружающие завод, в безветренные дни задерживали дым, и удушливая едкая пелена затягивала поселок, жилые дома были черные от копоти и сажи. Это являлось уже в тот период причиной возникновения у жителей специфических «чусовских болезней» дыхательных путей и кожи [223].

Статус города Чусовой получил 15 июня 1933 г. Масштабное строительство жилья в городе началось фактически с 1934 г. В этот период были построены кварталы 2 – 4-этажных жилых домов в границах современного микрорайона Старый город. Одновременно застраивались микрорайоны индивидуальной жилой застройки. В 1956 г. были развернуты работы по реконструкции и расширению Чусовского завода, созданию на нем более совершенного ферросплавного производства [223].

По мере роста завода увеличивалась потребность в жилье, но территория Старого города, ограниченная с севера горными массивами, а с юга и запада - рекой Чусовой и ее притоками, не давала возможности развернуть новое многоэтажное строительство. В 1962 г. началось сооружение первого многоэтажного дома на левом берегу, однако основное строительство развернулось лишь с возведением автодорожного моста через реку Чусовую в 1964 г. До конца 60-х годов в Новом городе был построен первый микрорайон из десяти домов. В дальнейшем микрорайон Новый город застраивался в основном девяти- и десятиэтажными домами [223]. В настоящее время основная часть населения города проживает в микрорайоне «Новый город». Часть жилых кварталов расположена в непосредственной близости к заводу, в том числе в пределах санитарно-защитной зоны. На территории города

можно выделить районы многоэтажной застройки (Старый город, Новый город), малоэтажную жилую застройку (микрорайоны Чунжино, Камасино, Шибаново, Красный поселок, Лисьи гнезда и др.) и промышленные территории. Metallургический завод в процессе развития города оказался в его центре (рис. 2).

Состояние окружающей среды в городе Чусовом. На территории г. Чусового расположены разнопрофильные промышленные и транспортные предприятия. Ведущим загрязнителем природной среды в городе Чусовой является ОАО «ЧМЗ». На его долю приходится более 85% массы загрязняющих веществ от предприятий металлургического комплекса Пермского края. Ежегодный валовой выброс загрязнителей составил с 2005 по 2008 года 19,1 – 24,7 тыс. тонн [200]. Специфика загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами во многом определяется схемой производства и сырьем. В состав ОАО «ЧМЗ» входят доменный, сталеплавильный, дулекс, прокатный и ферросплавный цеха. Поставщиком сырья для металлургического производства является ОАО «Губахинский кокс» г. Губахи Пермского края, а ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды и агломерат поступают от Качканарского ГОК Свердловской области. Ферросплавный цех является основным источником загрязнения окружающей среды соединениями ванадия и марганца. Известно, что загрязнение окружающей среды металлургическими предприятиями связано с объемами выпускаемой там продукции [85]. На ОАО «ЧМЗ» за 2007 год было выпущено 611 тыс. тонн чугуна ванадиевого, 515 тыс. тонн стали, 450 тыс. тонн сортового проката и 2371 тонн ванадия. Это соответствует примерно 1% от валового выпуска стали, чугуна и проката на предприятиях черной металлургии России [179].

Отходы производства ОАО «ЧМЗ» размещаются в отвале, который начал формироваться еще в 1939 году [150]. Отвал расположен в пойме реки Усьвы и на первой надпоймен-

ной террасе (рис. 2). Шлак металлургического производства со временем на поверхности отвала размельчается до пылевидного состояния [179]. Преобладающая фракция (20 – 40 мм) шлакового щебня имеет следующий химический состав: CaO - 33%, SiO₂ - 33%, Al₂O₃ - 15,2%, MgO - 12%, TiO₂ - 8,6%, S – 1,6%, Fe – 1,3%, FeO - 1,3%, MnO - 0,7%, V₂O₅ - 0,2%. Повышенное содержание в шлаке титана и ванадия связано с используемым на заводе сырьем [23]. Шлак ОАО «ЧМЗ» имеет неоднородный минералогический состав. В нем преобладают оксиды железа: магнетит (59,4%) и гематит (38,8%). В значительных количествах присутствуют: монооксид железа - вюстит, карбонаты кальция и магния – портландит, периклаз, брустит, кальцит, доломит и другие [150]. Объем шлаков в отвале оценивается в 150 млн. тонн [15].

Кроме металлургического завода, определенный вклад в загрязнение окружающей среды вносят следующие предприятия: Чусовской узел Свердловской железной дороги, Чусовской известняковый карьер, завод ЖБК и автотранспортные предприятия. Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация, по данным Н.В. Зайцевой [100], в Чусовом сложилась возле заводоуправления ОАО «ЧМЗ», железнодорожного вокзала и микрорайоне «Углежжение». В санитарно-защитной зоне ОАО «ЧМЗ», на расстоянии 200 – 400м от источника выбросов наблюдается угнетение древесной растительности (мелкие листья и преждевременное опадение). Травянистая растительность этой зоны изрежена, имеет бедный ботанический состав, не цветет. Листья растений покрыты слоем пыли [202].

По загрязнению воздушного бассейна город Чусовой относится к неблагоприятным территориям Пермского края. Он занимает в крае четвертое место по массе загрязняющих веществ и второе место (после г. Перми) по выбросу тяжелых металлов (V, Cu, Mn). Перечень токсичных соединений, поступающих в атмосферу города от разных источников, со-

ставляет свыше 70 компонентов [179]. Наибольший вклад принадлежит CO_2 , FeO , CaO , сернистому ангидриду, окиси ванадия, марганцу и его соединениям, а также тяжелым металлам: Cr , Pb и Cu [100]. В зоне выбросов ОАО «ЧМЗ» на участках селитебных территорий в воздухе кратность превышения ПДК по ванадию, хромю, никелю и марганцу варьирует от 1,1 до 3,5 раза [29]. По данным К.И. Малеева [151], на территории города процент проб воздуха с превышением загрязнителями ПДК составляет 8,1%. По сведениям К.Г. Пугина [179] загрязнение воздуха наблюдается в основном в радиусе 6 км от завода, т.е. практически охватывает всю территорию города.

Качество воды в реке Чусовой вниз по течению от города не соответствует нормативам для водных объектов. Индекс загрязнения воды в 2008г. составил 4,14. Было установлено превышение гигиенических нормативов по меди, марганцу, железу, хромю, на уровне 1,3-10 ПДК в реке Чусовой и меди – до 2,0 ПДК в реке Усьве [193].

Сильное воздействие на химический состав вод рек Чусовая, Усьва и подземные воды в черте города оказывает отвал отходов металлургического производства. На некоторых участках граница отвала совпадает с береговой линией реки Усьвы, и складированные отходы размываются речной водой. Влияние отвала в большей степени сказывается на химическом составе воды в Усьве. Содержание цинка в воде Усьвы по сравнению с фоном выше в 20 раз, в воде р. Чусовой – в 22 раза; содержание титана – в 2 и 7 раз; хрома – в 10 и 9 раз; никеля – в 6 и 9 раз; марганца – в 10 и 6 раз и меди – в 10 и 8, раз соответственно. Отвал оказывает существенное влияние на донные отложения рек города. В донных отложениях в зоне влияния отвала содержание техногенных образований - металловидных шлаковых частиц - достигает до 30,5%. Установлено повышенное содержание в донных осадках (мг/кг) Cr – до 1200, Ni – до 1050, Cu – до 330 [23].

По данным Б.В. Верихова [29], валовое содержание ванадия в почвах селитебной части города Чусового составляет 33,7 мг/кг, а в районе заводууправления ОАО «ЧМЗ» и прилегающих территорий – 450,0-515,0 мг/кг, что превышает ПДК в 3 – 3,5 раза. В среднем по городу содержание ванадия в почвах превышает ПДК в 1,5 раза.

Высокая техногенная нагрузка на окружающую среду города Чусового и его окрестности является основной причиной роста экообусловленных заболеваний населения города [100]. К одному из основных факторов риска здоровью человека в Чусовом, В.Б. Алексеев [7] относит проживание в неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях внешней среды. По данным автора, показатель младенческой смертности в Чусовом по причине экологически обусловленной репродуктивной патологии составляет 4,6%.

Чусовой относится к числу городов Пермского края, где отмечается высокий уровень содержания в крови организма подростков Cr, Pb и Mn. Влияние факторов окружающей среды на здоровье учащихся школ города Чусового детально изучалось сотрудниками ГОУ ВПО ПГМА имени Е.А. Вагнера Росздрава и ГУЗ «Пермский краевой научно-исследовательский институт детской экопатологии». Было установлено, что в биосредах детей содержание Ni оценивается выше нормы, а содержание Cr и Pb соответствует высокому уровню [100]. Выявлено, что в результате техногеохимического загрязнения окружающей среды города, у детей происходит рост заболеваемости костно-мышечной системы [29] и хроническим гастродуоденитом, повышается вероятность поражения органов желудочно-кишечного тракта [193].

Антропогенное преобразование окружающей среды при строительстве города привело к изменению почв, растительности и рельефа. В результате увеличения объемов металлургического производства на ОАО «ЧМЗ» и роста его шлакоотвала происходит усиление техногенной нагрузки на террито-

рию города и его окрестности. Особую опасность представляет загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и ухудшение экологического состояния селитебных территорий Чусового.

Таким образом, основным источником загрязнения окружающей среды города Чусового является ОАО «Чусовской металлургический завод» и его шлакоотвал. К приоритетным элементам загрязнителей воды и воздуха относятся Fe, V, Cr и Mn. Их содержание в компонентах окружающей среды высокое и, как следствие, в биосредах человека содержание этих элементов выше санитарно-гигиенических норм. Техногенная нагрузка на территорию города наносит значительный ущерб здоровью населения. В целом экологическая ситуация в Чусовом является неблагоприятной [200]. Сведения в научной литературе о химическом составе почв города ограничены, а мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами на территории города не осуществляется.

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОЧВ

Нами были изучены почвы природно-техногенных и природно-антропогенных ландшафтов селитебной и рекреационной частей территории города Чусового и его окрестностей. Всего заложено 12 основных разрезов и 91 прикопка. Почвенные разрезы закладывались на разном удалении от ОАО «ЧМЗ» по двум маршрутам, пересекающим территорию исследований с юго-запада на северо-восток и с юго-востока на северо-запад, что позволило охватить основные типы почв города на разных элементах мезо- и макрорельефа (рис. 2).

Всего на территории города Чусового и в его окрестностях были изучены почвы трех типов ландшафта по классификации И.Н. Панина [168]. В зависимости от степени антропогенного воздействия нами было выделено три типа ландшафтов. 1) Природные ландшафты – участки, подверженные минимальному техногенному воздействию, без су-

ществленных изменений внутриландшафтных связей, в основном, это - окрестности города; 2) Антропогенные ландшафты – техногенно-измененные участки, но без существенных изменений рельефа, сформировавшиеся под воздействием сельскохозяйственного использования и небольших промышленных предприятий. Этот тип ландшафта охватывает большую часть территории города и окрестностей, где расположены микрорайоны индивидуальной малоэтажной застройки с садово-огородными участками. 3) Природно-техногенные ландшафты – участки территории, где произошла полная трансформация рельефа и полная замена биотического фактора окружающей среды. Это территория многоэтажной жилой застройки города Чусового в микрорайонах Старый город и Новый город, а также территория шлакоотвала в пойме реки Усьвы и территория ОАО «ЧМЗ» (Рис. 3).

На левобережной части города исследовалась дерново-подзолистая почва (разрез 1 с координатами: широта $N58^{\circ}16.235'$, долгота $E057^{\circ}48.436'$, абсолютная высота 185 м) в лесопарке с пихтово-еловым древостоем и урбодерново-подзолистые почвы селитебной части микрорайона Новый город с многоэтажной жилой застройкой 60 – 90 г.г. XX века. На садово-огородных участках в микрорайонах малоэтажной индивидуальной застройки Камасино и Чунжино, исследовались агроземы текстурно-дифференцированные (разрез 11 с координатами: широта $N58^{\circ}16.899'$, долгота $E057^{\circ}46.394'$, абсолютная высота 117 м и разрез 12 с координатами: широта $N58^{\circ}17.089'$, долгота $E057^{\circ}48.965'$, абсолютная высота 119 м).

На острове Закурье в долине реки Чусовой исследовались аллювиальные серогумусовые почвы, вскрытые тремя разрезами на разных элементах поймы. Разрез 2 (широта $N58^{\circ}17.029'$, долгота $E057^{\circ}47.919'$, абсолютная высота 117 м) заложен на высокой пойме в южной части острова.



Рис. 3 Картограмма ландшафтного зонирования территории г. Чусового

Угодье – заливной луг с естественным разнотравно-злаковым травостоем. Разрез 3 (широта N58°17.212`, долгота E057°47.524`, абсолютная высота 114 м) заложен на низкой пойме в северной части острова. Угодье – ручной сенокос на заливном лугу с разнотравно-злаково-осоковым травостоем. Разрез 5 (широта N58°17.144`, долгота E057°48.017`, абсолютная высота 116 м) заложен на высокой пойме в пределах микрорайона Закурье в северо-восточной части острова. Использование почвы – газон придомовой территории с естественным разнотравно-злаковым травостоем на улице Закурье 12.

На правобережной части города Чусового в микрорайоне Старый город с многоэтажной административно-жилой застройкой 30 – 50 г.г. XX века были заложены разрезы на техноземы (разрез 6 с координатами: широта N58°18.324`, долгота E057°48.496`, абсолютная высота 158 м) в благоустроенном сквере по улице Ленина, 45 и на урбосерогумусовой почве (разрез 4 с координатами: широта N58°18.129`, долгота E057°47.914`, абсолютная высота 146 м) в неблагоустроенном сквере по улице Школьной. В окрестностях микрорайона «Красный поселок» на склоне юго-западной экспозиции крутизной 6° исследовалась катена агродерново-подзолистых почв, представленная тремя разрезами: разрез 16 (широта N58°18.165`, долгота E057°49.844`, абсолютная высота 258 м) заложен на верхней части склона, разрез 15 (с координатами: широта N58°18.053`, долгота E057°49.630`, абсолютная высота 218 м) и разрез 14 (с координатами: широта N58°17.973`, долгота E057°49.593`, абсолютная высота 177 м) заложены, соответственно, в средней части и у подножья склона. Использование почв – сенокос с разнотравно-бобово-злаковым травостоем. Также на правом берегу р. Чусовой исследована агродерново-подзолистая почва садово-огородного участка в поселке Антыбары (разрез 13 с координатами: широта

N58°17.536`, долгота E057°44.054`, абсолютная высота 124 м).

В ходе полевых исследований нами была выполнена закладка, морфологическое описание разрезов и отбор индивидуальных почвенных образцов согласно рекомендациями по полевой диагностике почв [51, 121]. Определение координат мест закладки разрезов выполнено с помощью GPS – навигатора.

3.1. Почвенный покров города и морфологическая характеристика почв

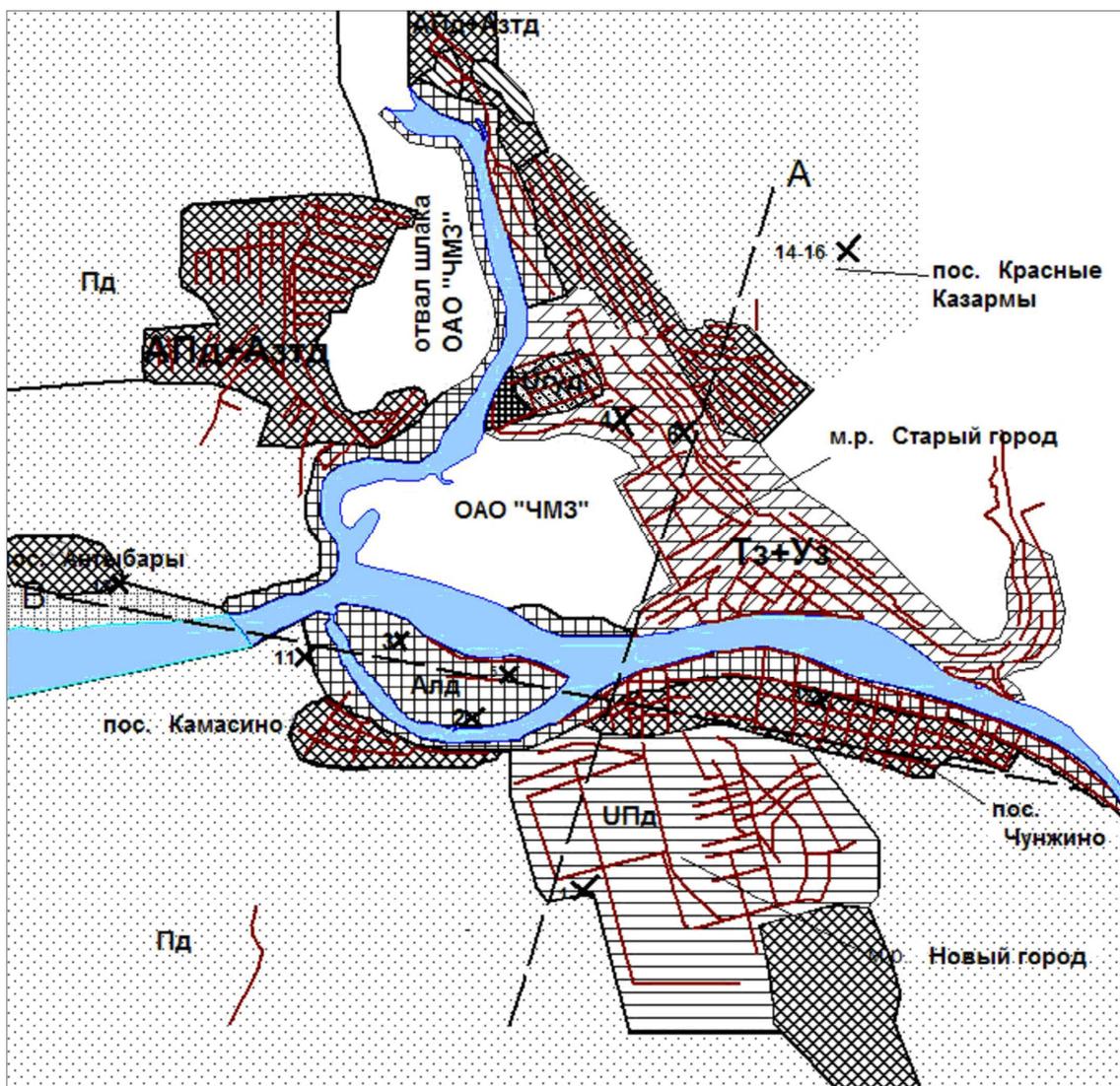
Морфологические признаки почв являются главными диагностическими показателями разделения профиля на генетические горизонты и определения ее соответствующей классификационной единицы [51, 121].

На территории города естественный почвенный покров претерпел изменения в результате антропогенно-техногенной деятельности. Почвы в селитебной и рекреационной частях города Чусового разнообразны и представлены следующими основными типами: дерново-подзолистыми, аллювиальными серогумусовыми, урбосерогумусовыми, урбодерново-подзолистыми, урбаноземами и техноземами (рис. 4).

Приведем морфологическое описание основных типов почв на основании полевых исследований.

Почвы микрорайонов многоэтажной застройки

Разрез 1. Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, на элювиально-делювиальной глине, подстилаемой известковым алевритом. Разрез заложен на территории лесопарка в микрорайоне Новый город. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в южном направлении на 1900 м. Древесная растительность представлена сосной обыкновенной, пихтой сибирской и елью европейской 5Е4П1С. В подлеске присутствуют рябина, черемуха и крушина.



Индекс	Наименование почв	Гранулометрический состав	Почвообразующие породы	Положение по рельефу	Площадь %
Алд	Аллювиальные-серогумусовые	легкосуглинистый	Аллювиальные отложения	пойма	14
Алд+Азтд	Агродерново-подзолистые, агроземы	легкосуглинистый	Элювий коренных пород	надпойменные террасы	24
Тз+Уз	Техноземы, урбаноземы	среднесуглинистый	—	надпойменные террасы	19
Лз	Литоземы	среднесуглинистый	Элювий известняка	надпойменные террасы	0,3
Пд	Дерново-подзолистые	тяжелосуглинистый	Элювио-делювий коренных пород	надпойменные террасы	20
Упд	Урбодерново-подзолистые	тяжелосуглинистый	Элювио-делювий коренных пород	надпойменные террасы	21
Угуд	Урбосерогумусовые	среднесуглинистый	Элювий известняка	надпойменные террасы	1,7

Рис. 4. Картограмма почв г. Чусового, 2009 г.

В надземном покрове - мхи, лишайники, гравилат городской, сныть обыкновенная, копытень европейский. Глубина разреза 150 см. Вскипание от соляной кислоты - с глубины 104 см.

A₀, 0 – 3 см. Лесная подстилка состоит из опада хвойных деревьев, частично из остатков травянистой растительности, мхов и лишайников средней и сильной степени разложения, темно-коричневой окраски.

A_У, 3 – 12 см. Сухой, темно-серый, единичные корни, тяжелосуглинистый, мелко-комковатый, рыхлый, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске.

EL, 12 – 27 см. Сухой, белесый, единичные корни, легкоглинистый, комковато-пластинчатый, рыхлый, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске.

BE_L, 27 – 59 см. Слегка увлажнен, бурый с обильной белесой присыпкой, легкоглинистый, мелко-ореховатый, плотный, переход в нижележащий горизонт постепенный по изменению цвета.

BT₁, 59 – 85 см. Слегка увлажнен, темно-бурый, легкоглинистый, плотный, мелко-ореховатый, переход в нижележащий горизонт заметен по цвету.

BT₂, 85 – 104 см. Слегка увлажнен, бурый, легкоглинистый, плотный, ореховато-призматический, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске, граница перехода резкая.

D, 104 – 150 см. Элювий известкового алевролита, увлажнен, серый, тяжелосуглинистый, щебнистый, бурно вскипает от 10% HCl.

Разрез 4. Урбосерогумусовая среднесуглинистая на элювии известняка. Разрез заложен на верхней части склона западной экспозиции крутизной 3 – 5° в неблагоустроенном сквере на улице Школьной. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в северо-восточном направлении на 700 м. Древесная растительность: тополь, клен остролистный, ива, береза. Травянистая растительность представлена разнотравно-бобово-злаковыми ассоциациями: тимофеевка, мятлик луговой, овсяница красная, пырей ползучий, кострец безостый, ежа сборная, клевер белый, чина луговая, горошек мышиный,

донник желтый. Глубина разреза 103 см. Бурное вскипание от соляной кислоты с глубины 30 см.

A₀, 0 – 3 см. Сухой, коричнево-серый, стебли и листья травянистых растений, листья деревьев средней и сильной степени разложения.

U, 3 – 30 см. Влажный, черный, среднесуглинистый, много тонких корней, комковато-зернистый, рыхлый, серый щебень диаметром 1 – 10 см, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске.

St₁, 30 – 54 см. Сухой, темно-бурый, много коричневых пятен и единичные сизые пятна, единичные корни, тяжело-суглинистый, мелкоореховатый, плотный переход в нижележащий горизонт ясный по окраске и структуре, бурно вскипает от 10% HCl.

St₂^g, 54 – 75 см. Влажный, коричнево-сизый с бурыми пятнами, единичные корни, тяжелосуглинистый, мелкоореховатый, рыхлый, переход в нижележащий горизонт по окраске и структуре, бурно вскипает от 10% HCl.

S, 75 – 103 см. Слегка увлажнен, светло-коричневый, среднесуглинистый, щебнисто-глыбистый, рыхлый, бурно вскипает от 10% HCl.

R, 103 см. Плотный известняк серого цвета.

Разрез 6. Технозем среднесуглинистый. Разрез заложен на газоне в благоустроенном сквере музыкальной школы по ул. Ленина 45. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в северо-восточном направлении на 550 м. Древесная растительность – клен остролистный. Состав травянистых растительных ассоциаций: мятлик луговой, райграс пастбищный, овсяница красная, подорожник лекарственный, пырей ползучий. Глубина разреза 108 см.

U₁, 0 – 18 см. Влажный, черный, густо переплетенный корнями травянистых растений, среднесуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, переход в нижележащий горизонт заметен по изменению окраски, структуры.

U₂, 18-80 см. Слегка увлажнен, темно-серый, редко корни, преобладают частицы шлака, строительного мусора диаметром до 5 см, обломки кирпичей и другие компоненты техногенного происхождения, переход заметен по изменению окраски и составу включений.

U₃, 80-94 см. Слегка увлажнен, бурый, супесчаный, преобладают включения щебня, шлака, угля и гравия диаметром до 3 см.

D, 90 – 108 см. Сухой, желтовато-бурый, супесчаный, бесструктурный, рыхлый.

Таким образом, верхняя часть профиля урбосерогумусовых почв (разрез 4) в микрорайоне Старый город представлена горизонтом урбик (U), который содержит включения строительного мусора и привнесенные тонкие частицы грунта техногенного происхождения. За счет близкого залегания плотного известняка почва испытывает периодическое поверхностное переувлажнение. Формирование профиля урботехноземов (разрез 6) происходило в процессе строительства микрорайона Старый город, и планировки местности с использованием техногенного материала.

Почвы острова Закурье

Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая легкосуглинистая, на аллювии. Разрез заложен на южном берегу о. Закурье. Заливной луг. Высокая пойма правого берега левой протоки реки Чусовой, огибающей с юга остров Закурье. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в южном направлении на 1000 м. Растительность – злаково-разнотравные ассоциации: мятлик, ежа сборная, пырей ползучий, ромашка лекарственная, осот желтый. Глубина разреза 100 см.

A₀, 0 – 5 см. Серый, рассыпчатый, стебли и листья травянистых растений.

A_У, 5 – 28 см. Сухой, серый с бурым оттенком, много тонких корней, легкосуглинистый, комковато-зернистый,

рыхлый, пористый, переход в нижележащий горизонт заметен по изменению структуры.

C_1^{\sim} , 28 – 50 см. Увлажнен, бурый, единичные корни, крупно-ореховатый, бесструктурный, плотный, переход в нижележащий горизонт заметен по структуре и окраске.

C_2^{\sim} , 50 – 100 см. Влажный, серый с бурым оттенком, единичные корни, среднесуглинистый, мелко-ореховатый, рыхлый, редко галька диаметром до 2 см.

Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая легкосуглинистая, на аллювии. Разрез заложен на северном берегу острова Закурье. Низкая пойма левого берега правой протоки реки Чусовой. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в южном направлении на 500 м. Ручной сенокос на заливном лугу. Разнотравно-злаково-осоковые ассоциации: овсяница красная, тимофеевка луговая, лисохвост, ежа сборная, осока повислая. Глубина разреза 110 см.

A_0 , 0 – 3 см. Сухой, серо-коричневый, рассыпчатый, стебли и листья травянистых растений.

$AУ$, 3 – 25 см. Влажный, темно-бурый, много корней, легкосуглинистый, зернисто-комковатый, рыхлый, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске.

C_1^{\sim} , 26 – 28 см. Сухой, светло-серый, песок рыхлый, бесструктурный, рассыпчатый, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре, окраске и гранулометрическому составу.

C_2^{\sim} , 29 – 39 см. Слегка увлажнен, бурый, единичные корни, легкосуглинистый, комковато-мелкоореховатой структуры, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске.

C_3^{\sim} , 40 – 44 см. Сухой, светло-серый, песок рыхлый, бесструктурный, рассыпчатый, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре, окраске и гранулометрическому составу.

C₄ ~~, 45 – 57 см. Слегка увлажнен, светло-бурый, единичные тонкие корни, легкосуглинистый, мелкоореховатый, плотный, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре и окраске.

C₅ ~~, 58 – 74 см. Сухой, светло-серый, песок рыхлый, бесструктурный, рассыпчатый, мелкая галька диаметром до 1 см, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре, окраске и гранулометрическому составу.

C₆ ~~, 75 – 85 см. Влажный, бурый, легкосуглинистый, мелкоореховатый уплотненный, переход в нижележащий горизонт ясный по структуре, окраске и гранулометрическому составу.

C₇ ~~, 86 – 110 см. Мокрый, светло-бурый, супесчаный, бесструктурный.

Строение профиля, с чередованием слоев разного гранулометрического состава, свидетельствует о цикличности почвообразования в результате аллювиального процесса.

Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая среднесуглинистая на аллювии. Высокая пойма. Разрез заложен на улице Закурье, 12 микрорайона индивидуальной жилой застройки «Закурье». Левый берег правой протоки реки Чусовой, 10 метров от уступа, отделяющего низкую пойму от высокой. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в южном направлении на 450 м. Газон на придомовой территории. Древесно-кустарниковая растительность вдоль улицы состоит из тополя черного и зарослей малины садовой. Травянистая растительность представлена злаково-бобово-разнотравными ассоциациями: овсяница красная, кострец безостый, пырей ползучий, клевер луговой. Глубина разреза 150 см.

AУ, 0 – 27 см. Слой 0 – 12 см. влажный, серый, густо переплетен корнями древесных растений диаметром до 2 см и корнями травянистых растений диаметром 1 – 2 мм, среднесуглинистый, пылевато-зернистый, рыхлый, одиночная крупная галька диаметром до 3 см, равномерно по всему го-

ризонту ходы дождевых червей. Переход заметен по изменению плотности и цвета.

АУ, Слой 12 – 27 см. Влажный, светло-серый, много корней, среднесуглинистый, комковато-зернистый, уплотнен, заметно плотнее слой 0 – 12 см, обильные ходы дождевых червей диаметром до 2 – 3 мм, единичная галька диаметром до 1 см, переход в следующий горизонт заметен по изменению окраски, граница перехода ровная.

$C_1^{~~}$, 27 – 36 см. Слегка увлажнен, светло-бурый, с серым оттенком, редко корни древесных и травянистых растений диаметром до 1 – 2 мм, среднесуглинистый, комковато-мелкоореховатый, плотный, граница перехода ровная, заметная по изменению окраски.

$C_2^{~~}$, 37 – 56 см. Слегка увлажнен, светло-бурый, единичные тонкие корни, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, плотнее чем $C_1^{~~}$, единичная галька до 1 см, переход в следующий горизонт постепенный по изменению окраски и структуры, граница перехода ровная.

$C_3^{~~}$, 56 – 87 см. Слегка увлажнен, светло-бурый, светлее, чем $C_2^{~~}$, единичные корни, тяжелосуглинистый, ореховато-призматический, переход в следующий горизонт заметен по изменению окраски, граница перехода ровная.

$C_4^{~~}$, 87 – 150 см. Слегка увлажнен, бурый, заметно темнее, чем $C_3^{~~}$, единичные корни, среднесуглинистый, крупнопризматический, плотный, тонкопористый, единичная галька диаметром до 2 см.

Таким образом, морфологические признаки аллювиальных почв о. Закурье отражают участие в их формировании, особенно на низкой пойме, аллювиального процесса. Четко выраженная слоистость профиля разреза 3 свидетельствует о регулярном поступлении аллювия разного гранулометрического и минералогического состава, что находит отражение в различии их химического состава.

Почвы микрорайонов индивидуальной жилой застройки

Большую часть территории города занимают садово-огородные участки в микрорайонах малоэтажной жилой застройки. Почвенный покров этих территорий представлен агроземами и агродерново-подзолистыми почвами, а вдоль русла рек Усьва и Чусовая аллювиальными серогумусовыми. Приведем описание ряда разрезов:

Разрез 11. Агрозем текстурно-дифференцированный среднесуглинистый на древнем аллювии. Садово-огородный участок в микрорайоне Камасино. Выровненная пологая первая надпойменная терраса левого берега р. Чусовой. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в юго-западном направлении на 2500 м. Глубина разреза 140 см.

P_1 , 0-20 см. Слегка увлажнен, темно-серый, много корней, среднесуглинистый, комковато-зернистый, редко включения обломков кирпичей и строительного мусора диаметром до 3 см, переход в нижележащий горизонт ясный по изменению цвета и структуры.

P_2 , 20-35 см. Слегка увлажнен, серый, единичные корни, среднесуглинистый, ореховато-крупнозернистый, плотный, встречаются включения угля, извести, обломки кирпичей диаметром до 3 см, переход в нижележащий горизонт ясный по изменению цвета и структуры.

BT_1 , 35-55 см. Слегка увлажнен, светло-бурый с серым оттенком, среднесуглинистый, ореховатый, плотный, ходы червей, постепенный переход в следующий горизонт по изменению структуры и окраски.

BT_2 , 55-110 см. Слегка увлажнен, бурый с серым оттенком, среднесуглинистый, крупноореховато-призматический, плотный, переход к почвообразующей породе постепенный.

C , 110-140 см. Влажный, светло-серый с буроватым оттенком, среднесуглинистый, столбчатый.

Разрез 12. Агрозем текстурно-дифференцированный среднесуглинистый на древнем аллювии. Садово-огородный

участок в микрорайоне Чунжино. Выровненная пологая первая надпойменная терраса левого берега р. Чусовой. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в юго-восточном направлении на 2500 м. Глубина разреза 110 см.

P₁, 0-20 см. Влажный, темно-серый, много корней, среднесуглинистый, зернистый, рыхлый, переход в нижележащий горизонт ясный, заметен по изменению структуры и цвета.

P₂, 20-35 см. Влажный, серый, единичные корни, среднесуглинистый, комковато-крупнозернистый, уплотнен, переход ясный по структуре и окраске.

BT₁, 35-45 см. Слегка увлажнен, светло-серый с бурым оттенком, среднесуглинистый, мелкоореховатый, плотный, переход в следующий горизонт ясный.

BT₂, 45-90 см. Слегка увлажнен, светло-бурый с серым оттенком, среднесуглинистый, ореховатый, плотный, переход к почвообразующей породе постепенный.

C[~], 90-110 см. Слегка увлажнен, бурый, тяжелосуглинистый, крупно-комковатый, плотный.

Разрез 13. Агродерново-подзолисто-глеевая глинистая. Садово-огородный участок в поселке Антыбары, пологий склон на первой надпойменной террасе правого берега реки Чусовой. Удаленность от ОАО «ЧМЗ» в западном направлении на 3700 м. Глубина разреза 120 см.

PY, 0 - 20 см. Влажный, темно-бурый, много корней, легкоглинистый, крупно-комковатой структуры, рыхлый, постепенный переход в нижележащий горизонт заметен по изменению окраски.

BE_L, 20 - 30 см. Слегка увлажнен, серый с бурым оттенком, единичные корни, легкоглинистый, мелкопризматический, плотный, встречаются рыжие пятна, переход выражен по структуре и окраске.

BT_g, 30 - 80 см. Влажный, темно-серый с сизым оттенком, легкоглинистый, призматической структуры, плотный,

имеются рыжие подтеки, резкий переход к нижележащему горизонту по изменению окраски и структуры.

G, 80 - 100 см. Влажный, сизый с бурым оттенком, легкоглинистый, глыбистый, плотный, имеются ржавые пятна диаметром до 3 – 5 см, постепенный переход в следующий горизонт заметен по изменению окраски.

C, 100 - 120 см, Материнская порода, сырой, бурого цвета с ржавыми пятнами, легкоглинистый, глыбистый, плотный.

Таким образом, морфологические признаки агроземов текстурно-дифференцированных (разрез 11 и 12) свидетельствуют о том, что в процессе окультуривания почв произошло формирование гумусового горизонта мощностью до 35 см. Он морфологически разделен на два подгоризонта, что указывает на то, что обработка на полную глубину пахотного слоя проводится не каждый год, и почва, в результате привнесения нового органоминерального материала, «растет» вверх. В средней части профиля сохраняются природные признаки почв, свидетельствующие о текстурной дифференциации профиля. Это - высокая плотность текстурного горизонта, ореховатая и ореховато-призматическая структура. Морфологические признаки агродерново-подзолистой почвы в пос. Антыбары (разрез 13) свидетельствуют о ее периодическом переувлажнении.

Почвы окрестностей микрорайона Красный поселок

В северо-восточных окрестностях города Чусового, на склоне юго-западной экспозиции, вблизи микрорайона Красный поселок, сформировались агродерново-подзолистые почвы с характерными морфологическими признаками их сельскохозяйственного освоения. В настоящее время использование почв склона под пашню прекращено. Приведем морфологическое описание почв.

Разрез 14. Почва агродерново-подзолистая легкосуглинистая, сформировавшаяся на элювиально-делювиальных от-

ложениях. Разрез заложен у подножье склона к северо-востоку от ОАО «ЧМЗ», на расстоянии 1500 м. Крутизна склона 6°. Сенокос. Преобладающие виды травянистых растений: клевер луговой, ежа сборная, тимофеевка луговая, мятлик луговой, осот желтый, земляника лесная, ромашка лекарственная, манжетка обыкновенная, тысячелистник. Глубина разреза 120 см.

A₀, 0-2 см. Сухой, коричневый, состоит из остатков полуразложившейся травянистой растительности.

РУЕЛ, 2-26 см. Сухой, светло-серый, сильно переплетен корнями, легкосуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, переход ясный по структуре и окраске.

ВЕЛ, 26-51 см. Слегка увлажнен, светло-бурый, единичные корни, легкосуглинистый, мелкоореховатый, плотный, переход к нижележащему горизонту малозаметный по окраске.

ВТ₁, 51-94 см. Слегка увлажнен, бурый с включениями ржавых пятен до 5 мм в диаметре, легкосуглинистый, ореховато-призматический, плотный, переход ясно выражен по структуре и окраске.

С, 94 – 120 см. Влажный, бурый, глинистый, бесструктурный, плотный, с включениями щебня алевролита размером до 10-15 мм.

Разрез 15. Почва агродерново-подзолистая легкосуглинистая, на элювиально-делювиальных отложениях. Разрез заложен в средней части склона, к северо-востоку от ОАО «ЧМЗ» на расстоянии 1800 м. Крутизна склона 6°. Сенокос разнотравно-злаковый. Преобладающие виды растений: клевер луговой, ежа сборная, мятлик луговой, тимофеевка луговая, земляника лесная, ромашка лекарственная. Глубина разреза 120 см.

A₀, 0-3 см. Увлажнен, состоит из остатков полуразложившейся травянистой растительности.

РУ, 3-21 см. Сухой, серый, сильно переплетен корнями, легкосуглинистый, мелкокомковатый, рыхлый, переход ясный по структуре и окраске.

ЕL, 21-33 см. Слегка увлажнен, белесовато-бурый, единичные корни, среднесуглинистый, пластинчатый, плотный, переход в нижележащий горизонт ясный, заметен по изменению структуры и окраски.

BE_L, 33-65см. Влажный, желто-бурый, единичные корни, среднесуглинистый, ореховатый, плотный, пористый, переход в нижележащий горизонт постепенный по изменению окраски.

BT₁, 65-89см. Влажный, коричнево-бурый, тяжелосуглинистый, призматический, плотный, переход ясный по структуре и окраске.

BT₂, 89-95 см. Влажный, коричнево-бурый, тяжелосуглинистый, крупно-призматический, плотный, переход постепенный по изменению структуры.

С, 95 – 120 см. Элювиально-делювиальные отложения, влажный, бурый, среднесуглинистый, глыбистый.

Разрез 16. Почва агродерново-подзолистая тяжелосуглинистая на элювиально-делювиальной глине. Разрез заложен в верхней части склона юго-западной экспозиции на расстоянии 2400 м к северо-востоку от ОАО «ЧМЗ». Крутизна склона 6°. Залежь. Преобладающие виды травянистых растений: клевер луговой, мятлик луговой, ежа сборная, ромашка лекарственная, осот желтый. Глубина разреза 120 см.

РУ, 0-24 см. Слегка увлажнен, светло-серый, много корней, тяжелосуглинистый, непрочно-комковатый, плотный, переход заметный по линии вспашки.

BE_L, 24-54см. Влажный, светло-бурый, единичные корни, тяжелосуглинистый, мелкоореховатый, плотный, переход ясный по изменению структуры и окраски.

BT, 54-86 см. Влажный, бурый, легкоглинистый, призматический, переход ясный по изменению гранулометрического состава, структуры и окраски.

CD, 86 – 120 см. Бурый, супесчаный, плитчатый.

Агродерново-подзолистые почвы северо-восточных окрестностей города Чусового имеют морфологические признаки почв агродерново-подзолистого типа, а, именно, четко выраженную по структуре элювиально-иллювиальную дифференциацию профиля. Небольшой по мощности гумусо-элювиальный горизонт и часть элювиальных горизонтов при окультуривании были преобразованы в пахотный слой PУ. Отличия в строении профиля связаны с положением почв на склоне с сильным развитием эрозии и подзолистого процесса.

Дерново-подзолистые почвы природных ландшафтов имеют типичное зональное строение профиля и характеризуются глубоким залеганием карбонатов. Морфологические признаки почв природно-техногенных ландшафтов города Чусового свидетельствуют о формировании в микрорайонах многоэтажной застройки урботехноземов, урбосерогумусовых и урбодерново-подзолистых почв с включением в верхнюю часть профиля этих почв строительного мусора, а также на территории микрорайона Старый город отходов металлургического производства. В природно-агрогенных ландшафтах дерново-подзолистые почвы преобразованы в агроземы текстурно-дифференцированные и агродерново-подзолистые почвы.

Таким образом, профили почв города Чусового формируются при сильном антропогенном воздействии. Наибольшие изменения в морфологии претерпели верхние горизонты почв. Вейстогенный фактор загрязнения почв - одно из определяющих условий накопления тяжелых металлов в почвах города.

3.2. Гранулометрический состав почв

Гранулометрический состав почв определялся пипет-методом с подготовкой почвы методом растирания с пирофосфатом натрия [25].

Дерново-подзолистая почва в микрорайоне Новый город (разрез 1) тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу и характеризуется элювиально-иллювиальным распределением ила и физической глины. Горизонты средней части профиля этой почвы являются легкими глинами. Содержание илистой фракции возрастает вниз по профилю от 14% в горизонте АУ до 36% в горизонте ВТ₁ (табл. 3). Технозем и урбосерогумусовая почва в микрорайоне Старый город среднесуглинистые по гранулометрическому составу. Содержание илистых частиц в техноземе (разрез б) составляет 10%, а в урбосерогумусовой почве (разрез 4) содержание ила несколько выше – 18%. Горизонт U₁ технозема отличается более высоким содержанием частиц размером от 1 до 0,25 см, что должно быть связано с использованием песка при формировании верхнего горизонта данной почвы.

Аллювиальные серогумусовые почвы на низкой пойме в северной части (разрез 3) и на высокой пойме в южной части о. Закурье (разрез 2) легкосуглинистые по гранулометрическому составу. Почва разреза 5 на самом высоком участке поймы имеет с поверхности среднесуглинистый гранулометрический состав, который сменяется тяжелосуглинистым на глубине 42 – 76 см в слоях C₂[~] и C₃[~]. Содержание илистых частиц в гумусовом горизонте АУ почв высокой поймы (разрез 2 и 5) составляет около 14%, а на низкой пойме в верхнем горизонте аллювиальной серогумусовой почвы ила содержится всего 10% (разрез 3). Следует отметить, что в профиле этой почвы встречаются супесчаные слои (C₁[~], C₃[~], C₅[~]), что свидетельствует о цикличности отложений там аллювия в период паводков.

Таблица 3. Гранулометрический состав почв города Чусового и его окрестностей, 2006 – 2008 г.г.

Горизонт, глубина, см	Размеры частиц, мм, содержание, %							Примечания
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	<0,01	
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва, микрорайон Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк								
AY, 3 – 12	3,0	19,5	30,5	11,4	21,7	14,0	47,0	Суглинок тяжелый
EL, 15 – 25	1,0	19,6	28,1	11,6	23,0	16,7	51,2	Глина легкая
BEL, 38 – 48	0,3	16,4	24,6	9,3	20,5	29,0	58,8	Глина легкая
BT ₁ , 67 – 77	0,1	13,9	23,7	7,7	18,5	36,1	62,4	Глина легкая
BT ₂ , 90 – 100	0,2	18,5	28,5	10,3	16,3	26,3	52,9	Глина легкая
D, 122 - 132	0,2	22,8	35,2	9,0	15,8	16,9	41,7	Суглинок тяжелый
Разрез 4. Урбосерогумусовая, микрорайон Старый город, ул. Школьная, сквер								
U, 3 – 30	7,2	35,5	20,4	7,0	12,1	17,8	36,9	Суглинок средний
Ct ₁ , 37 – 47	4,3	35,8	17,3	6,9	11,9	23,8	42,6	Суглинок тяжелый
Ct ₂ , 60 – 70	0,4	28,4	26,2	5,2	17,2	22,6	45,0	Суглинок тяжелый
C, 84 – 94	0,5	42,0	25,0	7,1	16,6	8,9	32,6	Суглинок средний
Разрез 6. Технозем, микрорайон Старый город, ул. Ленина, сквер								
U ₁ , 0 – 18	12,9	24,5	27,5	9,8	15,6	9,7	35,1	Суглинок средний
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – высокая пойма, луг								
AY, 5 – 28	6,7	34,9	29,7	5,5	9,1	14,1	28,7	Суглинок легкий
C ₁ [~] , 34 – 44	6,1	34,0	30,3	5,7	12,6	11,1	29,6	Суглинок легкий
C ₂ [~] , 70 - 80	2,1	27,0	35,5	7,0	9,4	19,0	35,4	Суглинок средний
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – высокая пойма, сенокос								
AY, 3 – 24	10,7	39,9	26,8	4,8	7,8	10,1	22,7	Суглинок легкий
C ₂ [~] , 27 – 37	3,9	37,0	30,5	5,8	8,6	14,3	28,6	Суглинок легкий
C ₄ [~] , 46 – 56	8,7	41,7	29,6	4,7	6,4	9,0	20,0	Суглинок легкий
C ₅ [~] , 60 – 70	64,7	28,4	3,7	0,3	2,2	0,6	3,2	Песок рыхлый
C ₆ [~] , 74 – 84	12,6	36,6	28,3	4,9	7,0	10,7	22,6	Суглинок легкий
C ₇ [~] , 88 - 98	1,4	55,3	24,6	3,4	5,8	9,5	18,8	Супесь

продолжение таблицы 3

Горизонт, глубина, см	Размеры частиц, мм, содержание, %							Примечания
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	<0,01	
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье, ул. Закурье – высокая пойма, газон								
AY, 0 – 12	4,3	28,4	35,7	7,4	10,7	13,5	31,6	Суглинок средний
AY, 15 – 25	4,7	32,4	32,8	6,5	8,1	15,6	30,2	Суглинок средний
C ₁ [~] , 29 – 37	3,7	26,7	36,0	6,3	9,3	18,0	33,6	Суглинок средний
C ₂ [~] , 42 – 52	0,9	19,0	38,1	8,5	11,5	22,0	42,0	Суглинок тяжелый
C ₃ [~] , 66 – 76	0,5	15,7	42,0	9,2	10,8	21,8	41,8	Суглинок тяжелый
C ₄ [~] , 108 – 118	0,4	18,2	42,1	7,8	9,8	21,6	39,2	Суглинок средний
Разрез 11. Агрозем текстурно-дифференцированный, микрорайон Камасино, садово-огородный участок								
P ₁ , 0-20	4,8	27,8	34,6	7,0	9,7	16,2	32,9	Суглинок средний
P ₂ , 25-35	3,6	29,3	33,0	7,3	9,0	17,7	34,0	Суглинок средний
BT ₁ , 40-50	4,3	30,7	30,4	7,4	8,5	18,7	34,6	Суглинок средний
BT ₂ , 70-80	4,5	25,6	33,6	6,8	4,2	25,3	36,3	Суглинок средний
C, 122-132	-	33,7	32,1	5,7	6,6	18,0	30,3	Суглинок средний
Разрез 12. Агрозем текстурно-дифференцированный, микрорайон Чунжино, садово-огородный участок								
P ₁ , 0-20	10,9	23,1	32,4	7,2	10,0	16,5	33,6	Суглинок средний
P ₂ , 25-35	3,4	22,5	37,3	8,2	8,2	20,4	36,8	Суглинок средний
BT ₁ , 35-45	7,7	19,9	35,6	6,6	8,2	22,0	36,8	Суглинок средний
BT ₂ , 60-70	10,0	22,7	35,0	5,7	6,8	19,7	32,2	Суглинок средний
C, 90-105	0,3	13,2	44,1	8,8	7,0	26,6	42,4	Суглинок тяжелый
Разрез 13. Агродерново-подзолисто-глеевая, поселок Антыбары, садово-огородный участок								
PY, 0-20	0,3	1,5	34,1	14,8	19,8	29,5	64,1	Глина легкая
BElg, 20-30	0,1	1,1	36,2	13,8	18,5	30,4	62,6	Глина легкая
BTg, 60-70	0,1	6,6	37,7	11,1	9,3	35,3	55,7	Глина легкая
G, 85- 95	-	7,4	39,4	9,4	11,6	32,1	53,1	Глина легкая
C, 105-115	0,1	2,8	35,7	13,3	13,5	34,7	61,5	Глина легкая

продолжение таблицы 3

Горизонт, глубина, см	Размеры частиц, мм, содержание, %							Примечания
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	<0,01	
Разрез 14. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красный поселок, нижняя часть склона								
PY, 2 - 10	20,9	33,1	21,1	9,5	11,2	4,2	24,9	Суглинок легкий
EL, 12 - 22	25,4	27,0	19,3	9,5	16,9	1,9	28,3	Суглинок легкий
BEL, 34 - 44	16,2	28,1	27,6	8,7	12,9	6,5	28,1	Суглинок легкий
BT ₁ , 67 - 77	15,5	29,3	25,7	8,3	12,4	8,8	29,5	Суглинок легкий
BT ₂ , 97 - 107	7,0	14,9	26,6	6,9	8,3	36,4	51,5	Глина легкая
C, 110 - 120	8,6	16,1	25,8	9,4	10,9	29,2	49,5	Суглинок тяжелый
Разрез 15. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красный поселок, середина склона								
PY, 3-21	24,8	26,4	19,8	6,3	12,9	9,8	29,0	Суглинок легкий
EL, 22-32	25,6	25,6	17,6	5,6	10,8	14,8	31,1	Суглинок средний
BEL, 44-54	21,2	24,3	21,0	7,1	13,1	13,3	33,5	Суглинок средний
BT ₁ , 72-82	13,1	38,0	0,8	22,3	8,4	17,5	48,1	Суглинок тяжелый
BT ₂ , 89-95	3,1	23,8	24,8	9,2	16,6	22,6	48,4	Суглинок тяжелый
C, 95 - 105	4,4	46,6	13,8	5,6	7,9	21,7	35,3	Суглинок средний
Разрез 16. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красный поселок, верхняя часть склона								
PY, 0-20	6,4	23,1	25,9	10,5	18,6	15,6	44,6	Суглинок тяжелый
BEL, 34-44	0,9	24,6	28,9	9,4	17,7	18,6	45,6	Суглинок тяжелый
BT, 65-75	1,1	15,4	20,5	11,8	19,3	31,9	63,1	Глина легкая
C, 86 - 96	17,3	55,0	13,3	3,6	4,9	5,9	14,4	Супесь

Агроземы текстурно-дифференцированные (разрезы 11 и 12) и агродерново-подзолистая почва (разрез 13) садово-огородных участков г. Чусового имеют элювиально-иллювиальное распределение гранулометрических фракций по профилю. Установлено обеднение илистой фракцией верхних горизонтов агроземов и агродерново-подзолистой почвы (16,2; 16,5 и 29,5% соответственно), и накопление илистых частиц в горизонтах ВТ и ВТg (25,3; 22,0 и 35,3% соответственно). Агроземы имеют среднесуглинистый гранулометрический состав, а агродерново-подзолистая почва поселка Антыбары является легкой глиной (табл. 3). Агродерново-подзолистые почвы северо-восточных окрестностей г. Чусового по гранулометрическому составу являются легкими суглинками. Содержание физической глины в этих почвах изменяется от 25% до 45%, соответственно, у подножья и на вершине склона. В почвах наблюдается обеднение верхних горизонтов илистой фракцией, которая накапливается в горизонте ВТ.

Таким образом, высокое содержание ила (16 – 29%) в поверхностных горизонтах агроземов и агродерново-подзолистых почв способствует закреплению в этих почвах Си и Рb [219]. Следует отметить, что, по данным О.Б. Роговой [183], техногенные высокомагнитные оксиды железа, содержащие тяжелые металлы, по размеру относительно крупные и накапливаются в основном в песчаной фракции почв, загрязненных металлургическим производством.

3.3. Физико-химические свойства почв

Тяжелые металлы в почве закрепляются в составе органического вещества, глинистых минералов, а также в оксидах железа [8]. Рассмотрим основные физико-химические свойства почв г. Чусового.

Определение физико-химических свойств почв проведено в научно-исследовательской лаборатории ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА: общий углерод ($C_{орг}$) - по методу Тюрина в

модификации ЦИНАО; гидролитическая кислотность (Нг) - по методу Каппена в модификации ЦИНАО [62]; сумма поглощенных оснований (S) - методом Каппена-Гильковица [63]; pH_{KCl} и pH_{H_2O} - потенциометрическим методом; $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ в карбонатных почвах определены методом Шмука; подвижные формы P_2O_5 и K_2O - методом Кирсанова в модификации ЦИНАО [61] и в карбонатных почвах - методом Мачигина [12].

Дерново-подзолистые почвы (разрез 1, прикопки 1 - 3), несколько отличается по физико-химическим свойствам горизонта АУ от горизонтов РУ агродерново-подзолистых почв сельскохозяйственных угодий окрестностей Чусового (разрезы 14 – 16, прикопки 37 - 48) и имеют в горизонте АУ повышенные значения суммы обменных оснований, среднекислую реакцию среды, а также низкое содержание подвижного фосфора и высокое доступного калия. Обращает на себя внимание высокое содержание $C_{орг}$ ($7,2 \pm 0,7$) в горизонте АУ разреза 1. Мощность гумусового горизонта небольшая, и продукты разложения лесной подстилки накапливаются в виде неспецифических гумусовых веществ в верхней части гумусового горизонта (табл. 4).

Урбосерогумусовая почва в микрорайоне Старый город (разрез 4, прикопки 10 - 12) характеризуются высокими значениями суммы обменных оснований, нейтральной реакцией среды, средним содержанием подвижного фосфора и высоким содержанием доступного калия. Содержание органического вещества в горизонте U урбосерогумусовой почвы оценивается как низкое.

Техноземы в микрорайоне Старый город (разрез 6, прикопки 16 - 18) в горизонте U_1 , имеет высокие значения суммы обменных оснований, нейтральную реакцию среды, низкое содержание подвижного фосфора и высокое содержание доступного калия. Содержание органического вещества в техноземе высокое.

Таблица 4. Физико-химические свойства почв, город Чусовой, 2006 – 2008 г.г.

Горизонт и глубина, см	C _{орг} , %	S	Hг	ЕКО	V, %	pH _{KCl}	pH _{H2O}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мЭКВ/100г						мг/100г	
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва, м-н Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк									
AY, 3 – 12	7,2±0,7	15,4±0,8	3,8±0,1	19,2±0,8	80±0,8	4,9±0,1	5,8±0,1	4,9±0,7	19,2±2,1
EL, 15 – 25	1,2±0,1	9,4±0,9	2,3±0,5	11,7±0,6	80±5,0	4,2±0,3	5,3±0,3	2,0±0,3	11,2±1,3
BE _L , 38 – 48	0,8	11,0	4,7	15,7	70	3,8	5,0	1,0	12,8
BT ₁ , 67 – 77	0,9	14,8	2,6	17,3	85	4,1	5,6	3,4	16,0
BT ₂ , 90 – 100	0,8	24,6	0,7	25,3	97	6,3	7,4	8,7	14,0
D, 122 - 132	0,5	24,7		24,7	100	-	8,0	1,6	7,6
Разрез 4. Урбосерогумусовая, м-н Старый город, ул. Школьная, сквер									
U, 3 – 30	2,1±0,1	24,8±4,3	-	24,8±4,3	100	7,0±0,3	7,5±0,1	5,5±0,4	42,4±4,6
Ct ₁ , 37 – 47	1,2±0,2	27,2±2,3	-	27,2±2,3	100	6,9±0,2	7,8±0,1	4,8±0,9	29,2±3,2
Ct ₂ , 60 – 70	0,8	29,6	-	29,6	100	-	8,0	1,8	18,2
C, 84 – 94	0,7	24,0	-	24,0	100	-	8,0	1,8	12,4
Разрез 6. Технозем, м-н Старый город, ул. Ленина, сквер									
U ₁ , 0-18	6,4±0,7	23,5±0,3	-	23,5±0,3	-	6,9±0,1	7,7±0,0	3,5±0,3	22,8±2,5
U ₂ , 44-54	6,4	11,0	1,1	12,1	92	5,7	6,6	7,9	12,4
U ₃ , 82-92	29,2*	24,7	3,7	28,4	87	4,9	6,0	8,0	4,4
D, 94-104	1,4	11,9	-	11,9	-	6,8	7,3	8,6	9,2
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – высокая пойма, луг									
AY, 5 – 28	1,2±0,1	10,6±0,3	0,9±0,1	11,5±0,3	92±1,0	5,9±0,1	7,2±0,1	6,9±0,6	7,2±0,7
C ₁ [~] , 34 – 44	0,9±0,1	10,1±0,2	0,7±0,1	10,8±0,3	94±2,2	6,0±0,1	7,1±0,1	5,8±0,7	6,0±0,6
C ₂ [~] , 70 - 80	0,7	11,5	1,0	12,5	92	5,7	7,2	2,9	5,6

продолжение таблицы 4

Горизонт и глубина, см	C _{орг} , %	S	Hг	ЕКО	V, %	рН _{KCl}	рН _{H2O}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мЭКВ/100г						мг/100г	
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – низкая пойма, сенокос									
AY, 3 – 24	1,3±0,1	24,3±0,5	0,4±0,1	24,7±0,4	98±0,4	6,3±0,0	7,5±0,9	3,4±0,2	5,6±0,4
C ₂ [~] , 27 – 37	0,9±0,1	24,7±0,3	0,3±0,0	25,0±0,3	99±0,3	6,3±0,1	7,6±0,1	2,0±0,1	4,4±0,2
C ₄ [~] , 46 – 56	0,8	18,2	0,3	18,5	98	6,3	7,6	3,0	3,6
C ₅ [~] , 60 – 70	0,2	5,7	0,3	6,0	96	6,2	7,4	2,8	1,6
C ₆ [~] , 74 – 84	1,4	17,4	0,3	17,7	98	6,3	7,6	3,3	3,6
C ₇ [~] , 88 – 98	0,8	19,7	0,3	20,0	98	6,3	7,7	4,4	2,8
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье, ул. Закурье – высокая пойма, газон									
AY, 0 – 12	4,1±0,2	19,2±1,0	0,3±0,3	19,5±0,8	98±1,6	6,5±0,3	7,4±0,2	7,5±0,9	35,6±6,0
AY, 15 – 25	1,2±0,3	7,8±1,2	2,7±0,4	10,5±0,8	75±4,1	4,5±0,3	5,7±0,2	7,6±0,9	10,4±0,9
C ₁ [~] , 29 – 37	0,6±0,2	9,3±0,5	2,6±0,4	11,9±0,2	78±3,7	4,5±0,2	5,8±0,2	5,3±0,7	6,4±0,9
C ₂ [~] , 42 – 52	0,6	10,8	1,2	12,0	90	4,6	6,1	3,3	6,0
C ₃ [~] , 66 – 76	0,5	11,8	0,9	12,7	93	5,1	6,7	4,0	6,4
C ₄ [~] , 108 – 118	0,4	10,1	0,7	10,8	94	5,4	6,8	5,0	7,2
Разрез 11. Агрозем текстурно-дифференцированный, м-н Камасино, садово-огородный участок									
P ₁ , 0-20	7,4±1,0	22,4±0,7	1,9±0,1	24,3	92±0,3	6,3±0,0	-	25,0	80,0
P ₂ , 25-35	3,1±0,3	18,5±1,0	1,9±0,2	20,4	90±1,0	6,5±0,1	-	25,0	80,0
BT ₁ , 40-50	1,5	11,4	1,5	12,9	89	6,2	-	25,0	80,0
BT ₂ , 70-80	0,9	9,2	2,1	11,3	81	5,6	-	20,8	24,1
C, 122-132	0,4	6,9	1,7	8,6	80	5,3	-	10,5	25,8

продолжение таблицы 4

Горизонт и глубина, см	C _{орг} , %	S	Hг	ЕКО	V, %	pH _{KCl}	pH _{H2O}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мЭКВ/100г						мг/100г	
Разрез 12. Агроем текстурно-дифференцированный, м-н Чунжино, садово-огородный участок									
P ₁ , 0-20	2,9±0,1	20,7±0,2	0,9±0,1	21,6	96±1,0	6,5±0,1	-	25,0	80,0
P ₂ , 25-35	2,1±0,1	17,7±0,2	1,1±0,2	18,8	94±1,0	6,2±0,1	-	25,0	80,0
BT ₁ , 35-45	1,5	12,7	1,3	14,0	91	5,9	-	9,0	15,7
BT ₂ , 60-70	0,9	9,7	1,5	11,2	86	5,7	-	7,5	7,3
C, 90-105	0,8	23,4	1,9	25,4	92	5,4	-	4,9	8,6
Разрез 13. Агродерново-подзолисто-глеявая, пос. Антыбары, садово-огородный участок									
PY, 0-20	5,3±0,3	9,6±2,0	9,2±1,4	19,9	48±7,0	4,4±0,3	-	25,0	29,1
BE _{Lg} , 20-30	1,4±0,2	7,6±2,0	14,4±1,3	16,9	45±6,0	3,9±0,3	-	5,3	15,0
BT _g , 60-70	1,4	7,2	11,9	21,6	34	3,6	-	6,4	10,7
G, 85- 95	0,3	7,2	11,6	19,2	38	3,4	-	9,6	12,1
C, 105-115	0,3	7,8	9,7	19,4	40	3,4	-	10,5	14,3
Разрез 14. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красные поселок, нижняя часть склона									
PY, 2 - 10	3,2±0,7	15,7±2,4	1,9±0,2	17,6±2,3	89±1,2	4,8±0,2	-	9,0±1,6	10,8±1,6
EL, 12 - 22	1,9±0,2	13,5±1,1	3,4±0,4	16,9±1,3	80±1,8	3,9±0,2	-	5,0±0,9	6,8±0,3
BE _L , 34 - 44	-	14,5	2,5	17,0	85,2	4,0	-	5,0	8,0
BT ₁ , 67 - 77	-	16,2	2,8	18,9	85,3	4,0	-	6,0	8,4
BT ₂ , 97 - 107	-	26,0	3,5	29,5	88,1	4,3	-	31,0	10,0
C, 110 - 120	-	34,6	0,6	35,2	98,2	5,9	-	28,0	6,8

продолжение таблицы 4

Горизонт и глубина, см	C _{орг} , %	S	Hг	ЕКО	V, %	pH _{KCl}	pH _{H2O}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мЭКВ/100г						мг/100г	
Разрез 15. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красные поселок, середина склона									
РУ, 3-21	4,1±0,4	15,8±2,1	3,8±0,4	19,6±1,9	81±2,8	5,2±0,1	-	5,0±3,9	7,8±0,8
ЕL, 22-32	1,2±0,1	8,4±2,7	2,7±0,2	11,1±2,6	76±2,8	4,6±0,1	-	2,4±1,5	7,7±0,9
ВЕL, 44-54	0,5	11,0	2,2	13,2	83	4,4	-	2,2	8,1
ВТ ₁ , 72-82	0,9	19,4	4,3	23,7	82	4,0	-	3,7	12,2
ВТ ₂ , 89-95	0,8	23,2	2,0	25,2	92	4,9	-	14,0	11,3
Разрез 16. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красные поселок, верхняя часть склона									
РУ, 0-24	4,2±0,4	20,9±1,0	2,5±0,1	23,4±1,0	89±0,6	5,1±0,1	-	5,5±3,2	8,0±1,8
ВЕL, 34-44	-	23,1±2,6	2,1±0,4	25,2±2,5	92±2,5	4,7±0,2	-	1,0±2,4	6,0±1,5
ВТ, 65-75	-	30,1	1,4	31,5	96	5,1	-	38,0	7,2
С, 86 - 96	-	21,5	0,9	22,4	96	5,3	-	13,6	3,6

Примечания: среднее ± стандартная ошибка, для n = 4; - нет данных, * - потери при прокаливании

Использование техногенных материалов в городском хозяйстве способствует созданию в основном благоприятных для целей ландшафтного строительства физико-химических свойств городских почв.

Аллювиальные серогумусовые почвы о. Закурье имеют некоторые отличия физико-химических свойств в зависимости от их геоморфологической позиции по элементам поймы. Содержание Сорг в гумусовых горизонтах почв варьирует от 1,2% - в разрезе 2 до 4,1% - в разрезе 5 на высокой пойме. Максимальной ЕКО (24,7 м-экв/100 г) характеризуется аллювиальная серогумусовая почва на низкой пойме (разрез 3, прикопки 7 - 9), а самая низкая ЕКО (11,5 м-экв/100 г) установлена в южной части острова (разрез 2, прикопки 4 - 6). Аллювиальная почва на высокой пойме по поглотительной способности (ЕКО 19,5 м-экв/100 г) занимает промежуточное положение. Содержание P_2O_5 изменяется от 3,4 мг/100г (разрез 3) до 7,5 мг/100г (разрез 5), а K_2O - от 5,6 мг/100г (разрез 3) до 35,6 мг/100г (разрез 5). Реакция среды у аллювиальных серогумусовых почв варьирует от слабокислой (разрез 2) до нейтральной (разрез 5, прикопки 13 - 15).

Окультуривание почв садово-огородных участков в микрорайонах Камасино и Чунжино идет с 16 века и привело к формированию агроземов текстурно-дифференцированных, которые отличаются от агродерново-подзолистых почв по агрохимическим свойствам поверхностных горизонтов. Реакция среды агроземов нейтральная (pH_{KCl} от 6,3 до 6,5), агродерново-подзолистая почва имеет сильнокислую рН (pH_{KCl} 4,4), емкость катионного обмена у агроземов составляет 21,6 и 24,3 мг-экв/100г, а у агродерново-подзолистой почвы ЕКО несколько ниже - 19,9 мг-экв/100г, содержание в почвах органического углерода варьирует от 7,4 до 2,9%, а содержание подвижного фосфора (> 25 мг/100г) и обменного калия (29 – 80 мг/100г) очень высокое во всех почвах садово-огородных участков (табл. 4).

Физико-химические свойства агродерново-подзолистых почв на северо-востоке г. Чусового в микрорайоне Красный поселок характеризуются следующим образом. Содержание $C_{орг}$ в горизонте РУ изменяется в пределах от 3,2 до 4,2%. Показатели, определяющие поглотительную способность, – сумма обменных оснований и емкость катионного обмена в поверхностных горизонтах почв - характеризуются повышенными значениями. Верхние горизонты почв обладают реакцией среды ($pH_{КСl}$ 4,8 -5,2) от среднекислой до слабокислой. Содержание подвижного фосфора и доступного калия по разрезам изменяется от низкого до среднего.

Закреплению тяжелых металлов в агроземах текстурно-дифференцированных, урбосергумусовой почве и техноземах способствуют нейтральная реакция среды и повышенная поглотительная способность. Кислая реакция среды и низкая емкость катионного обмена в горизонте АУ дерново-подзолистых почвах будут определять подвижность и миграцию тяжелых металлов (Ni, Cu) вглубь профиля почвы.

Таким образом, почвы г. Чусового, сформировавшиеся под влиянием сильного воздействия хозяйственной деятельности человека, характеризуются физико-химическими свойствами, отличающими их от дерново-подзолистых почв, незначительно затронутых антропогенным фактором (разрез 1). Агроземы садово-огородных участков имеют окультуренный пахотный слой и обладают в целом благоприятными агрохимическими свойствами для выращивания культурных растений. Урбосерогумусовые почвы, техноземы и урбаноземы в микрорайоне Старый город имеют некоторые характерные физико-химические свойства, связанные с использованием техногенных отходов при их формировании: высокое содержание органического углерода, нейтральную и слабощелочную реакцию среды. Это позволяет эффективно использовать почвы при озеленении территории города.

Высокая сумма обменных оснований, высокое содержание Сорг, а также близкая к нейтральной и нейтральная реакция среды почв многоэтажной жилой застройки города (разрезы 4, 6) способствуют закреплению Ni, Cu, и Pb в поверхностных горизонтах [219]. Реакция среды агродерново-подзолистых и дерново-подзолистых почв (разрезы 1, 13 – 16) варьирует от сильнокислой до слабокислой, что в условиях промывного водного режима определяет подвижность и профильную миграцию Ni, Cu и Cr.

3.4. Валовой химический состав почв

Определение валового химического состава проводилось рентгенфлуоресцентным методом на приборе Tefa-6111 в ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН.

Распределение макроэлементов в профиле почв г. Чусового и подчиняется закономерностям естественных почвообразовательных процессов, антропогенных и техногенных (табл. 5) Обращает внимание аккумуляция железа в поверхностных горизонтах почв, что является следствием накопления техногенных выбросов. В дерново-подзолистой (разрез 1) и агродерново-подзолистых почвах (разрезы 13 – 16) элювиальные горизонты АУ и ЕL обогащены кремнеземом и обеднены полуторными оксидами. Особенно четко эта особенность генезиса дерново-подзолистых почв проявляется в разрезе 1 и 13. В текстурных горизонтах (ВТ₁ и ВТ₂) дерново-подзолистых и агродерново-подзолистых почв в процессе иллювиирования происходит аккумуляция MgO и Al₂O₃. В горизонте АУ дерново-подзолистой почвы (разрез 1) и агродерново-подзолистых почвах окрестностей микрорайона Красный поселок (разрезы 14 – 16) наблюдается незначительное превышение концентраций TiO₂, MnO над их кларками. В урбосерогумусовой почве (разрез 4) с глубиной содержание SiO₂, TiO₂ и Al₂O₃ уменьшается, а содержание CaO значительно возрастает по сравнению с верхним горизонтом U, что связано с карбонатностью подстилающей породы.

Таблица 5. Валовой химический состав почв города Чусового и его окрестностей, 2006 – 2008 г.г.

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	SO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кларк	51,81	13,26	5,43	0,77	0,11	1,04	1,92	0,21	0,18	1,63
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва, м-н Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк										
AY, 3 – 12	70,46	9,54	4,60	0,83	0,17	0,23	2,08	0,19	0,10	1,93
EL, 15 – 25	74,24	11,34	4,25	0,74	0,07	1,80	0,78	0,12	0,12	2,08
BEL, 38 – 48	67,85	13,27	6,09	0,79	0,07	2,24	0,89	0,12	0,17	2,17
BT ₁ , 67 – 77	63,92	14,55	7,54	0,74	0,09	1,66	1,36	0,06	0,08	2,61
D, 122 - 132	54,83	11,23	5,08	0,60	0,05	1,33	11,90	0,08	0,12	2,09
Разрез 4. Урбосергумусовая почва, м-н Старый город, ул. Школьная, сквер										
U, 3 – 30	57,37	12,17	8,97	0,90	0,25	0,82	7,62	0,08	0,07	2,18
Ct ₁ , 37 – 47	58,93	12,24	6,05	0,57	0,13	1,81	4,60	0,09	0,23	2,11
Ct ₂ , 60 – 70	53,32	10,92	5,01	0,51	0,07	0,96	11,16	0,12	0,01	1,98
C, 84 – 94	54,01	10,80	5,13	0,47	0,06	0,78	12,23	0,06	0,01	2,06
Разрез 6. Технозем, м-н Старый город, ул. Ленина, сквер										
U ₁ , 0-18	51,06	14,02	12,98	1,64	0,56	0,28	6,26	0,73	0,01	1,45
U ₂ , 44-54	47,18	22,29	7,00	1,15	0,12	1,42	2,31	1,18	0,56	1,01
U ₃ , 82-92	30,63	12,51	4,74	1,30	0,24	0,21	8,47	1,25	1,89	1,20
D, 94 - 104	64,51	11,88	5,39	0,86	0,15	1,37	3,12	0,49	0,52	1,60
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – высокая пойма, луг										
AY, 5 – 28	65,99	13,17	6,05	0,82	0,18	0,77	1,82	0,14	0,17	1,84
C ₁ [~] , 34 – 44	64,51	11,36	5,35	0,79	0,14	1,95	1,72	0,13	0,19	1,78
C ₂ [~] , 70 - 80	67,20	12,33	5,33	0,88	0,16	0,89	1,47	0,09	0,15	1,89
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – низкая пойма, сенокос										
AY, 3 – 24	63,28	10,72	5,22	0,76	0,14	1,46	2,47	0,10	0,14	1,76
C ₂ [~] , 27 – 37	64,30	11,35	6,43	1,02	0,16	1,31	2,64	0,29	0,17	1,82
C ₄ [~] , 46 – 56	64,87	11,17	5,36	0,78	0,21	1,74	2,48	0,15	0,15	1,63
C ₇ [~] , 88 - 98	67,35	10,47	4,86	0,73	0,17	1,64	2,67	0,13	0,15	1,45
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье, ул. Закурье – высокая пойма, газон										
AY, 0 – 12	60,83	10,31	6,15	0,86	0,19	0,66	2,71	0,20	0,12	1,87
AY, 15 – 25	70,38	11,53	4,97	0,81	0,12	1,06	1,60	0,13	0,19	2,11
C ₁ [~] , 29 – 37	67,82	12,06	5,32	0,78	0,16	1,17	1,40	0,10	0,10	2,03
C ₃ [~] , 66 – 76	66,59	12,87	5,69	0,83	0,18	1,55	1,32	0,12	0,16	2,03
C ₄ [~] , 108 – 118	68,44	12,91	5,40	0,87	0,14	0,82	1,35	0,03	0,04	2,18
Разрез 11. Агрозем текстурно-дифференцированный, м-н Камасино, с-о участок										
P ₁ , 0-20	60,24	9,87	5,09	0,86	0,18	1,37	2,76	0,29	0,73	2,15
P ₂ , 25-35	61,95	11,44	5,57	0,88	0,19	1,19	2,20	0,15	0,62	2,32
BT ₁ , 40-50	64,22	12,30	5,34	0,86	0,14	1,28	1,57	0,12	0,40	2,18
BT ₂ , 70-80	64,61	12,94	5,41	0,92	0,11	1,39	1,26	0,07	0,22	1,20
C, 122-132	67,33	13,08	5,21	0,80	0,13	1,33	1,16	0,08	0,10	2,02

продолжение таблицы 5

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	SO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кларк	51,81	13,26	5,43	0,77	0,11	1,04	1,92	0,21	0,18	1,63
Разрез 12. Агрозем текстурно-дифференцированный, м-н Чунжино, с-о участок										
P ₁ , 0-20	63,01	11,37	5,43	0,90	0,20	1,20	2,41	0,16	0,39	2,15
P ₂ , 25-35	64,97	12,05	5,53	0,91	0,20	0,98	2,12	0,13	0,23	2,18
BT ₁ , 35-45	66,58	12,33	5,13	0,86	0,16	0,81	1,71	0,10	0,09	1,89
BT ₂ , 60-70	66,22	12,26	5,13	0,86	0,16	1,12	1,55	0,07	0,08	1,79
C, 90-105	64,17	12,77	5,81	0,93	0,19	1,46	1,47	0,07	0,11	1,88
Разрез 13. Агродерново-подзолисто-глеевая, пос. Антыбары, с-о участок										
PY, 0-20	66,57	14,75	3,39	1,00	0,05	1,19	1,07	0,14	0,20	2,07
BElg, 20-30	68,34	13,25	5,47	0,97	0,05	1,10	0,85	0,08	0,12	2,21
BTg, 60-70	70,12	13,67	5,54	0,94	0,05	1,34	0,80	0,12	0,19	2,23
G, 85- 95	68,19	15,36	5,40	0,93	0,11	2,02	0,72	0,13	0,16	2,36
C, 105-115	66,77	14,89	6,27	0,91	0,09	1,75	0,73	0,10	0,14	2,53
Разрез 14. Агродерново-подзолистая, окрестности м-на Красный поселок, нижняя часть склона										
PY, 2 - 10	62,60	13,35	6,17	0,75	0,12	1,31	3,06	0,03	0,25	2,46
EL, 12 - 22	74,38	13,06	5,27	0,82	0,06	0,66	0,81	0,06	0,03	2,51
BEI, 34 - 44	68,37	10,72	6,34	0,88	0,27	0,38	1,58	0,20	0,22	2,53
BT ₁ , 67 - 77	64,64	14,23	6,45	0,80	0,10	1,20	1,14	0,03	0,03	2,57
BT ₂ , 97 - 107	74,63	10,80	3,85	0,66	0,10	0,60	0,73	0,03	0,19	2,22
C, 110 - 120	58,08	10,27	7,48	0,84	0,30	0,77	2,31	0,16	0,18	2,53
Разрез 15. Агродерново-подзолистая, окрестности м-на Красный поселок, середина склона										
PY, 3-21	69,58	10,91	5,77	0,80	0,25	0,85	1,35	0,09	0,27	2,35
EL, 22-32	69,33	11,13	4,58	0,77	0,15	0,84	0,83	0,03	0,19	2,24
BEI, 44-54	71,36	10,72	4,43	0,69	0,14	1,11	0,97	0,05	0,25	2,28
BT ₁ , 72-82	67,36	14,08	5,24	0,71	0,06	1,63	0,80	0,05	0,21	2,65
BT ₂ , 89-95	62,60	13,47	6,22	0,53	0,22	1,38	1,73	0,04	0,20	3,03
C, 95 - 105	70,66	13,07	5,03	0,73	0,13	0,90	0,73	0,01	0,12	2,94
Разрез 16. Агродерново-подзолистая, окрестности м-на Красный поселок, вершина склона										
PY, 0-20	65,67	12,44	5,59	0,77	0,13	1,02	1,09	0,05	0,28	2,30
EL, 20-30	66,87	10,48	4,91	0,75	0,17	0,84	1,10	0,12	0,26	2,08
BEI, 34-44	61,26	15,60	6,81	0,84	0,07	2,02	1,21	0,06	0,14	3,05
BT, 65-75	67,79	14,52	6,25	0,81	0,05	0,85	0,91	0,04	0,18	2,70
C, 86 - 96	70,16	13,30	5,50	0,81	0,12	1,29	1,07	0,08	0,27	2,51

В горизонте U содержание CaO выше значения кларка в 4 раза. Карбонаты в этой почве имеют литогенное происхождение. В профиле урбосерогумусовой почвы по данным валового химического состава отчетливо выделяются две области: верхняя – силикатная и нижняя – карбонатная. Антропогенно-техногенный фактор в формировании технозема на-

ходит заметное отражение в валовом химическом составе. Так, в горизонте U_1 наблюдаются превышения кларков SO_3^- в 3,5 раза; TiO_2 в 2,1 раза; Fe_2O_3 в 2,4 раза; MnO в 5,1 раза; CaO 3,3 раза.

Накопление этих элементов происходит при планировке рельефа местности и формировании техноземов с использованием шлака металлургического производства. По данным С.В. Брызгалова [23], шлаки отвала ОАО «ЧМЗ» в значительных количествах содержат оксиды TiO_2 , Fe_2O_3 и CaO . Содержание SiO_2 и Al_2O_3 в профиле технозема сильно варьирует, что можно объяснить использованием разных по составу материалов при формировании профиля данных почв.

Аллювиальные серогумусовые почвы не имеют четкой дифференциации профиля по полуторным оксидам. В отличие от дерново-подзолистых почв аллювиальные почвы острова Закурье содержат меньше SiO_2 , а содержание Fe_2O_3 в верхних горизонтах разреза 5 выше кларка в среднем в 1,2 раза, что должно быть связано с накоплением техногенных железистых минералов вблизи от источника выбросов.

В горизонте Р агроземов микрорайонов малоэтажной жилой застройки Чунжино и Камасино отмечено накопление P_2O_5 , K_2O и CaO выше кларка (разрезы 11 и 12). Это связано с применением на садово-огородных участках минеральных удобрений, известковых материалов, золы. Дифференциация профиля выражена в обеднении верхней части алюминием. Железо по профилю распределено относительно равномерно. Отсутствует обеднение железом верхних горизонтов агроземов, что объясняется оседанием железа с пылевыми частицами выбросов ОАО «ЧМЗ», которое компенсируют его вынос.

Таким образом, распределение макроэлементов в профиле почв города Чусового и его окрестностей подчиняется закономерностям естественных почвообразовательных процессов, которые сочетаются с антропогенными и техногенными. Техногенный вклад в валовой химический состав почв

наиболее заметно выражен в техноземах, а антропогенный - в агроземах. Влияние металлургического производства проявляется в аккумуляции макроэлементов: железа, титана, серы, кальция в поверхностных горизонтах почв города.

ГЛАВА 4. ОКСИДЫ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВАХ

4.1. Минералы железа в почвах

по данным мессбауэровской спектроскопии

Определение количества и качества минералов железа в почвах можно осуществить с помощью мессбауэровской спектроскопии [5, 18, 115]. Метод мессбауэровской спектроскопии основан на изучении спектров, полученных при резонансном взаимодействии гамма-излучения с ядрами атомов излучаемого вещества. Анализ спектра ядерного гамма-резонанса (ЯГР) дает возможность установить валентное состояние железа, электронную конфигурацию, координационное число, магнитное состояние и кристаллическую симметрию атомов железа в структуре вещества. По полученной информации судят о размере частиц магнитных соединений железа, степени загрязнения почв тяжелыми металлами [13, 129, 195].

К основным элементарным параметрам мессбауэровского спектра относят: изомерный сдвиг, квадрупольное расщепление и эффективное магнитное поле, действующее на ядрах железа. Изомерный сдвиг – это смещение центра тяжести спектра относительно центра тяжести эталона. Квадрупольное расщепление - расстояние между компонентами спектра. Эффективное магнитное поле – это поле, действующее на ядра железа. Все вышеперечисленные характеристики определяются по полученным мессбауэровским спектрам и обрабатываются с помощью компьютерных программ [129].

Форма линий мессбауэровского спектра является результатом наложения линий излучателя и поглотителя. Парамагнетики имеют спектры дуплетного характера, определяемые наличием в них лишь электрических электронно-

ядерных взаимодействий, что характеризуют дублеты – D1, D2, D3. По таким спектрам диагностируется наличие в почвах эпидота, хлорита, гидрослюды, гидроксидов железа и железосодержащих силикатов. Для магнитоупорядоченных минералов характерны ядерные гамма-резонансные (ЯГР) – спектры со сверхтонкой магнитной структурой в виде сикстетов – С1, С2, С3. По ним в почвах определяется наличие магнитоупорядоченных оксидов железа: гематита и магнетита [129]. Мессбауэровские спектры почв отражают содержание природных и техногенных железистых минералов. К природным относятся хлорит, эпидот, гидрослюды и тонкодисперсные гидроксиды железа, а к техногенным – магнетит и гематит.

Мессбауэровская спектроскопия образцов почв г. Чусового выполнена на спектрометре Ms – 1104 Em в режиме постоянных ускорений с источником ^{57}Co в матрице хрома при комнатной температуре. Исследования проведены в ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов».

По данным мессбауэровской спектроскопии, в почвах г. Чусового выявлены следующие минералы железа: гематит, магнетит, хлорит, тонкодисперсные гидроксиды железа и железосодержащие силикаты, гидрослюды и эпидот (табл. 6). Для всех вышеперечисленных минералов было установлено фазовое содержание в процентах от валового железа. Примененный метод не позволяет на данном этапе выделить отдельные фазы тонкодисперсных гидроксидов железа, являющихся рентгеноаморфными. К ним относят: феррооксидит, ферригидрит и лепидокрокит.

Ранее Н.М. Дуровым и В.В. Коровушкиным [87] была проведена идентификация почвенных оксидов железа методами мессбауэровской спектроскопии и магнитометрии в районе действия ОАО «Косогорский металлургический завод» в городе Туле.

Таблица 6. Железосодержащие фазы почв г. Чусового по данным мессбауэровской спектроскопии, 2009 г.

Горизонт, глубина, см	Компонента спектра	δ	Δ	Н эфф, Кэ	Компонент площади	Распределение Fe по фазам %	Ко	Fe фаза
		мм/с						
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва, микрорайон Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк								
AY, 3 – 12 см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,26	514	8,4	0,30	0,903	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,28	-0,08	488	6,2	0,20		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,59	0,04	447	8,4	0,30		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,13	2,65	0	5,5	0,20		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,37	0,56	0	47,4	1,50		Т/д гидроксиды Fe
	D3(Fe ³⁺)	0,39	0,93	0	24,1	0,80		Гидрослюды
EL, 15 – 25	D1(Fe ²⁺)	1,11	2,61	0	8,6	0,31	0,914	Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,37	0,52	0	60,7	2,15		Т/д гидроксиды Fe
	D3(Fe ³⁺)	0,37	1,01	0	30,7	1,09		Гидрослюды
BT ₁ , 67 – 77 см	D1(Fe ²⁺)	1,08	2,68	0	6,6	0,35	0,954	Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,36	0,80	0	43,2	2,28		гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,36	0,51	0	50,2	2,64		Т/д гидроксиды Fe
Прикопка к разрезу 1								
EL, 15 – 25 см	D1(Fe ²⁺)	1,13	2,61	0	3,2	0,10	0,968	Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,36	1,01	0	32,9	1,01		Гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,36	0,54	0	63,9	1,96		Т/д гидроксиды Fe

продолжение таблицы 6

Горизонт, глубина, см	Компонента спектра	δ	Δ	Н эфф, Кэ	Компонент площади	Распределение Fe по фазам %	Ко	Fe фаза
		мм/с						
Разрез 4. Урбосерогумусовая почва, микрорайон Старый город, ул. Школьная, сквер								
U, 3 – 30 см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,15	514	10,2	0,60	0,894	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,32	-0,12	491	11,8	0,70		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,58	-0,03	458	13,3	0,90		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,14	2,76	0	4,0	0,30		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,37	0,50	0	26,8	1,70		Т/д гидроксиды Fe
	D3(Fe ³⁺)	0,38	0,76	0	33,9	2,10		Гидрослюды
Прикопка 1 к разрезу 4								
U, 3 – 30 см	C1(Fe ³⁺)	0,38	-0,17	514	10,0	0,63	0,868	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,32	-0,07	490	16,3	1,03		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,60	0,06	457	13,3	0,84		Fe-сиилкат
	D1(Fe ²⁺)	1,15	2,30	0	6,5	0,41		Т/д гидроксиды Fe
	D2(Fe ³⁺)	0,37	0,50	0	28,4	1,79		Гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,36	0,86	0	25,5	1,61		
Прикопка 2 к разрезу 4								
U, 3 – 30 см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,19	513	8,4	0,44	0,915	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,30	-0,06	489	10,2	0,53		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,65	-0,09	453	10,0	0,52		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,13	2,66	0	3,4	0,18		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,39	0,96	0	19,3	1,00		Гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,37	0,53	0	48,7	2,52		Т/д гидроксиды Fe

продолжение таблицы 6

Горизонт, глубина, см	Компонента спектра	δ	Δ	Н эфф, Кэ	Компонент площади	Распределение Fe по фазам %	Ко	Fe фаза
		мм/с						
Разрез 6. Технозем, микрорайон Старый город, ул. Ленина, сквер								
U ₁ , 0-18 см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,19	513	19,5	1,80	0,888	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,32	-0,09	490	16,2	3,10		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,60	0,01	459	14,5			Магнетит
	C4(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,68	0,08	429	3,4			Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,15	2,67	0	7,3	0,70		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,38	0,67	0	39,1	3,50		Т/д гидроксиды Fe
U ₂ , 44-54см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,19	514	29,3	1,43	0,910	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,30	0,06	486	6,7	0,33		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,66	-0,05	448	7,5	0,37		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,25	2,66	0	5,7	0,28		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,36	0,97	0	37,4	1,83		Гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,36	0,54	0	13,4	0,66		Т/д гидроксиды Fe
U ₃ , 82-92см	C1(Fe ³⁺)	0,38	-0,18	511	11,1	0,37	0,877	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,29	-0,04	487	25,0	0,82		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,67	0,57	459	8,4	0,28		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	0,95	2,37	0	8,1	0,27		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,36	0,85	0	40,3	1,33		Гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,37	0,67	0	7,2	0,24		Т/д гидроксиды Fe

продолжение таблицы 6

Горизонт, глубина, см	Компонента спектра	δ	Δ	Н эфф, Кэ	Компонент площади	Распределение Fe по фазам	Ко	Fe фаза
		мм/с						
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – высокая пойма, луг								
AY, 5 – 28 см	C1(Fe ³⁺)	0,40	-0,27	512	5,6	0,20	0,849	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,21	-0,02	487	3,0	0,10		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,71	-0,14	469	4,2	0,20		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,12	2,67	0	13,0	0,60		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,37	0,62	0	62,6	2,60		Т/д гидроксиды Fe
	D3(Fe ³⁺)	0,37	1,94	0	11,6	0,50		Эпидот
Прикопка 1 к разрезу 2								
AY, 5 – 28 см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,22	513	5,5	0,21	0,835	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,28	0,01	495	3,2	0,12		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,63	-0,43	466	3,3	0,12		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,14	2,64	0	14,8	0,56		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,40	1,89	0	11,5	0,43		Эпидот
	D3(Fe ³⁺)	0,37	0,61	0	61,8	2,33		Т/д гидроксиды Fe
Прикопка 2 к разрезу 2								
AY, 5 – 28 см	C1(Fe ³⁺)	0,37	-0,22	513	6,7	0,25	0,832	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,28	0,01	490	4,1	0,15		Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,63	-0,01	459	3,2	0,12		Магнетит
	D1(Fe ²⁺)	1,15	2,63	0	15,2	0,56		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,40	1,83	0	10,5	0,38		Эпидот
	D3(Fe ³⁺)	0,37	0,61	0	60,3	2,22		Т/д гидроксиды Fe

продолжение таблицы 6

Горизонт, глубина, см	Компонента спектра	δ	Δ	Н эфф, Кэ	Компонент площади	Распределение Fe по фазам	Ко	Fe фаза
		мм/с						
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – низкая пойма, сенокос								
C ₂ [~] , 27 – 37 см	C1(Fe ³⁺)	0,36	-0,16	511	13,5	0,61	0,873	Гематит
	D1(Fe ²⁺)	1,16	2,67	0	12,7	0,57		Хлорит
	D2(Fe ³⁺)	0,38	0,95	0	34,4	1,55		Гидрослюды
	D3(Fe ³⁺)	0,36	0,52	0	39,2	1,76		Т/д гидроксиды Fe
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье, ул. Закурье, газон								
AY ₁ , 0 – 12 см	C1(Fe ³⁺)	0,38	-0,20	515	9,2	0,40	0,844	Гематит
	C2(Fe ³⁺)	0,29	-0,09	492	6,8	0,30		Магнетит Магнетит
	C3(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	0,69	0,01	458	6,3	0,30		Хлорит
	D1(Fe ²⁺)	1,13	2,66	0	12,5	0,50		Т/д гидроксиды Fe
	D2(Fe ³⁺)	0,38	0,62	0	58,1	2,50		Эпидот
	D3(Fe ³⁺)	0,37	1,96	0	7,1	0,30		

Примечания: δ – изомерный сдвиг относительно α Fe; Δ – квадрупольное расщепление; Нэфф – эффективное магнитное поле; Ко – коэффициент окисления железа; компоненты спектра включают секстеты и дуплеты; распределение железа по фазам берется в % от Feвал; тонкие гидроксиды железа не идентифицируются.

Установлено, что вблизи завода почвы имеют повышенное содержание магнетита, маггемита, гематита и гидрогетита. По мере удаления от границ металлургического предприятия в почве происходит закономерное снижение количества этих железосодержащих техногенных минералов. Одновременно, по мере удаления от завода на расстояние от 100 до 400 м, происходит значительное снижение магнитной восприимчивости и валового содержания тяжелых металлов: Pb, Cu и Zn.

Нами всего было проанализировано 15 почвенных образцов, которые по особенностям спектров, содержания магнетита и магнитной восприимчивости были разделены на три группы. В первую группу входят наименее загрязненные магнетитом почвы - дерново-подзолистая (разрез 1) в лесопарке и аллювиальная серогумусовая - на низкой пойме (разрез 3) о. Закурье.

Вторая группа – это почвы из средне-загрязненных техногенным магнетитом зон городской территории к которым относится аллювиальная серогумусовая почва на высокой пойме (разрез 2) и урбосерогумусовая почва (разрез 4) в сквере микрорайона Старый город. Третья группа – это наиболее загрязненные ферромагнетиками почвы городской территории, которые представлены горизонтами U_1 , U_2 , U_3 технозома (разрез 6) в микрорайоне Старый город.

Мессбауэровские спектры горизонтов EL и BT_1 дерново-подзолистой почвы (разрез 1) представлены на рисунке 5, где ясно выделяются три дублета (D1, D2, D3). Они соответствуют железосодержащим минералам: хлориту, гидрослюде и тонкодисперсным гидроксидам железа.

В поверхностном горизонте АУ разреза 1 выявлены гематит и магнетит (табл. 6). Их наличие там может быть связано не только с аэральным загрязнением почвы лесопарка, но и с биогенным синтезом магнетита [105].

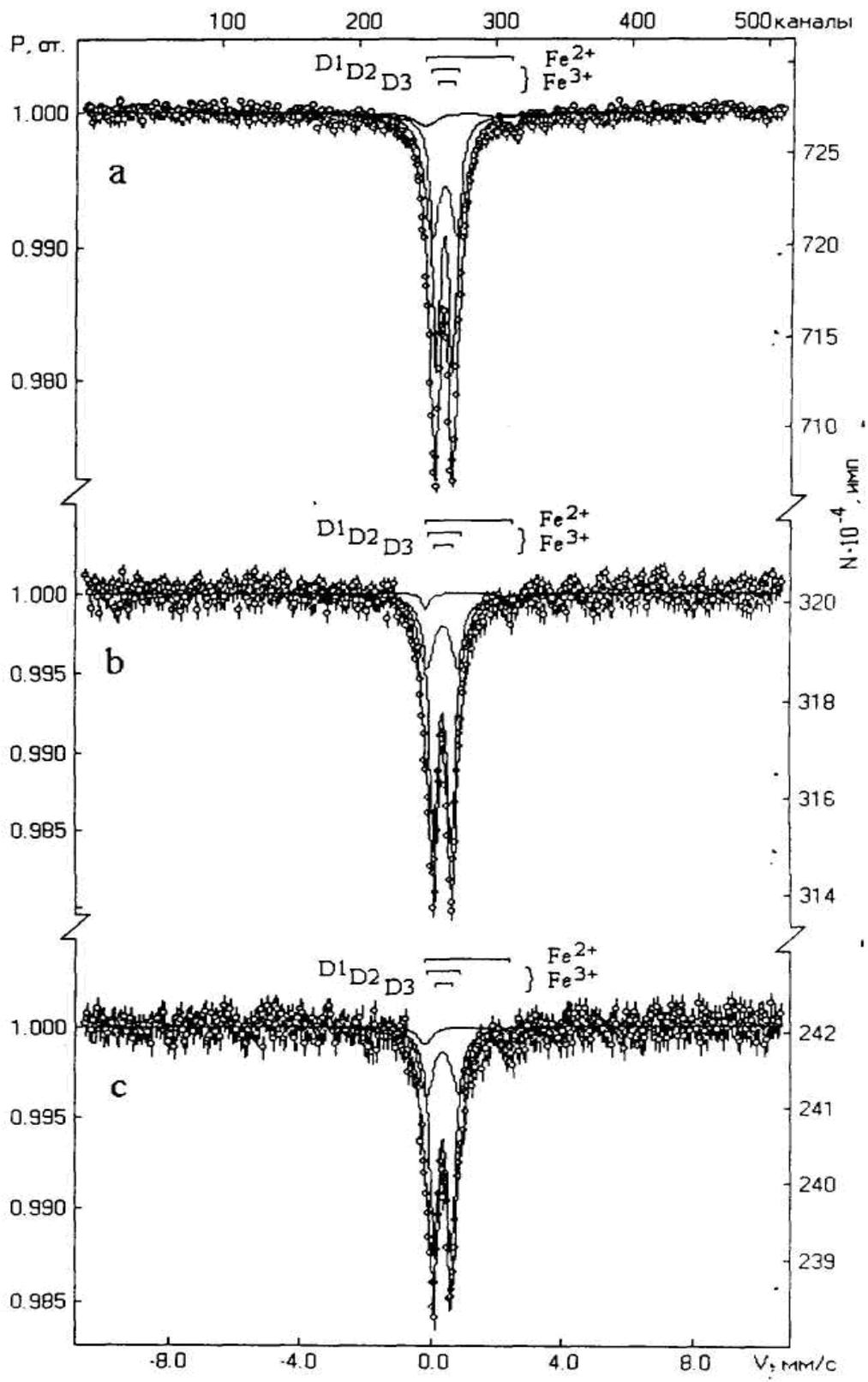


Рис. 5. Мессбауэровские спектры образцов дерново-подзолистой почвы (разрез 1): а – гор. ВТ₁(67 – 77 см), б – гор. ЕL (прикопка 1, 15 – 25 см), с – гор. ЕL (15 – 25 см)., Компоненты спектра: D1,2,3 – дублеты, P – вероятность резонансного эффекта; N – число импульсов в канале; V, мм/с – скорость движения источника γ излучения

В спектрах низлежащих горизонтов (элювиальном и текстурном) отсутствуют сикстеты, которые диагностируют наличие техногенных форм гематита и магнетита. Отсутствие этих минералов в горизонте ЕL свидетельствует о разрушении гематита и магнетита в процессе подзолообразования, а в горизонте ВТ магнитоупорядоченные минералы не образуются. Гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы служит защитным экраном для техногенных оксидов железа.

В аллювиальной серогумусовой (разрез 3) почве на низкой пойме содержание магнетита значительно ниже (0,3%), чем в аллювиальной серогумусовой почве (разрез 5) высокой поймы (1,2%) (табл. 6). Такие различия должны быть связаны с частичным смывом техногенных сферул магнетита во время паводка в пойме низкого уровня и погребением магнитоупорядоченных оксидов в результате аллювиального процесса. Это подтверждает прогрессивное накопление магнетита на поверхности почвы низкой поймы вблизи от ОАО «ЧМЗ».

Отметим также, что в слое аллювия уже на глубине 27 – 37 см разреза 2 магнетит отсутствует. Вероятно, в условиях периодического подтопления почвы низкой поймы он постепенно переходит в гетит (табл. 6). Сикстеты С1 – С3 в мессбауэровских спектрах почв, отнесенных ко второй группе, свидетельствуют о наличии в них техногенных форм гематита и магнетита (рис. 6). В аллювиальной серогумусовой почве разреза 2 содержание гематита 5,6% и магнетита 7,2%. В целом в фазовом составе оксидов железа почв, отнесенных ко второй группе, преобладает магнетит над гематитом. Наибольшее содержание магнетита наблюдается в горизонте U урбосерогумусовой почвы - почти 25,1% (табл. 6).

В фазовом составе магнитоупорядоченных минералов технозема магнетит является преобладающим в горизонтах U₁ и U₃. В горизонте U₂, наоборот, содержание гематита выше, чем магнетита (табл. 6).

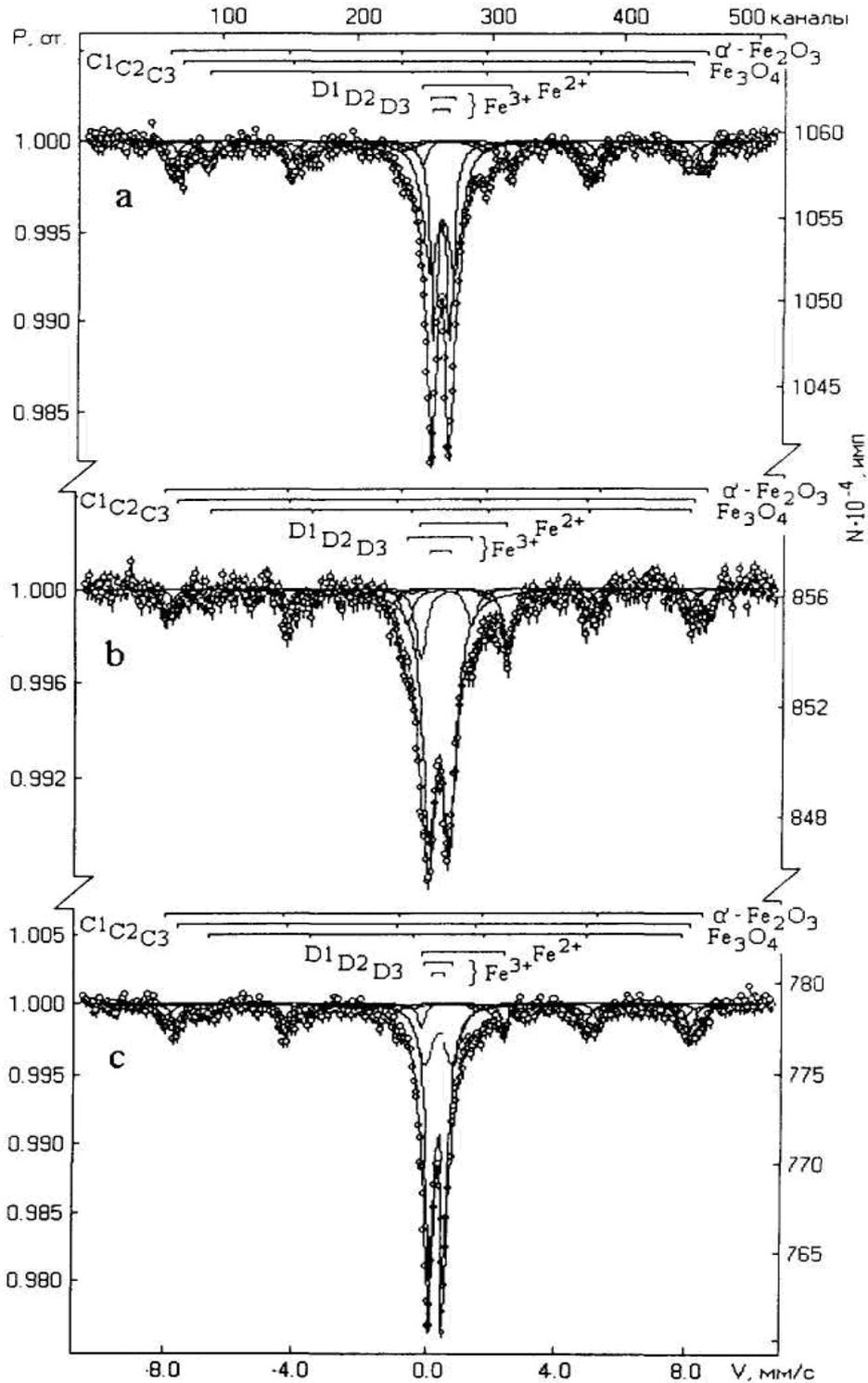


Рис. 6. Мессбауэровские спектры образцов поверхностных горизонтов урбосерогумусовой (разрез 4) и аллювиальной серогумусовой (разрез 5) почв: а, с – гор U (3 – 30 см) урбосергумусовая почва (разрез 4); б – гор. АУ (0 – 12 см) аллювиальная серогумусовая почва (разрез 5), Компоненты спектра: C1,2,3 – сикстеты, D1,2,3 – дублеты; P – вероятность резонансного эффекта; N – число импульсов в канале; V, мм/с – скорость движения источника γ излучения

Мессбауэровские спектры профиля технозема имеют более ясно выраженные сикстеты (С1, С2, С3), чем в почвах других, менее загрязненных территорий города (рис. 7). Следовательно, технозем содержит много магнетита. Содержание магнетита в горизонтах U_1 , U_2 , U_3 технозема составляет 34,1%, 14,2% и 33,4%, соответственно.

В почвах микрорайонов малоэтажной жилой застройки, по сравнению с почвами многоэтажной застройки, содержание магнетита ниже. Это связано с тем, что железосодержащие поллютанты имеют крупные размеры и оседают в пределах естественной котловины, где и расположен микрорайон Старый город.

Важным показателем в загрязненных техногенными оксидами железа почвах является соотношение двух- и трехвалентного железа в минералах. Оно диагностируется по коэффициенту окисления железа и является показателем окислительно-восстановительной обстановки минералообразования [129].

Коэффициент окисления (K_o) варьирует от 0,83 в аллювиальных серогумусовых почвах о. Закурье (разрез 2) до 0,97 в дерново-подзолистой почве (разрез 1) лесопарка в микрорайоне Новый город (табл. 6). Судя по этому, восстановительные процессы в аллювиальных почвах объясняются влиянием паводка. Это может сопровождаться растворением техногенных минералов (магнетита и гематита). В почвах на высоких элементах рельефа вероятнее всего протекание окислительных процессов, следовательно более, высокое количество трехвалентного железа в минералах.

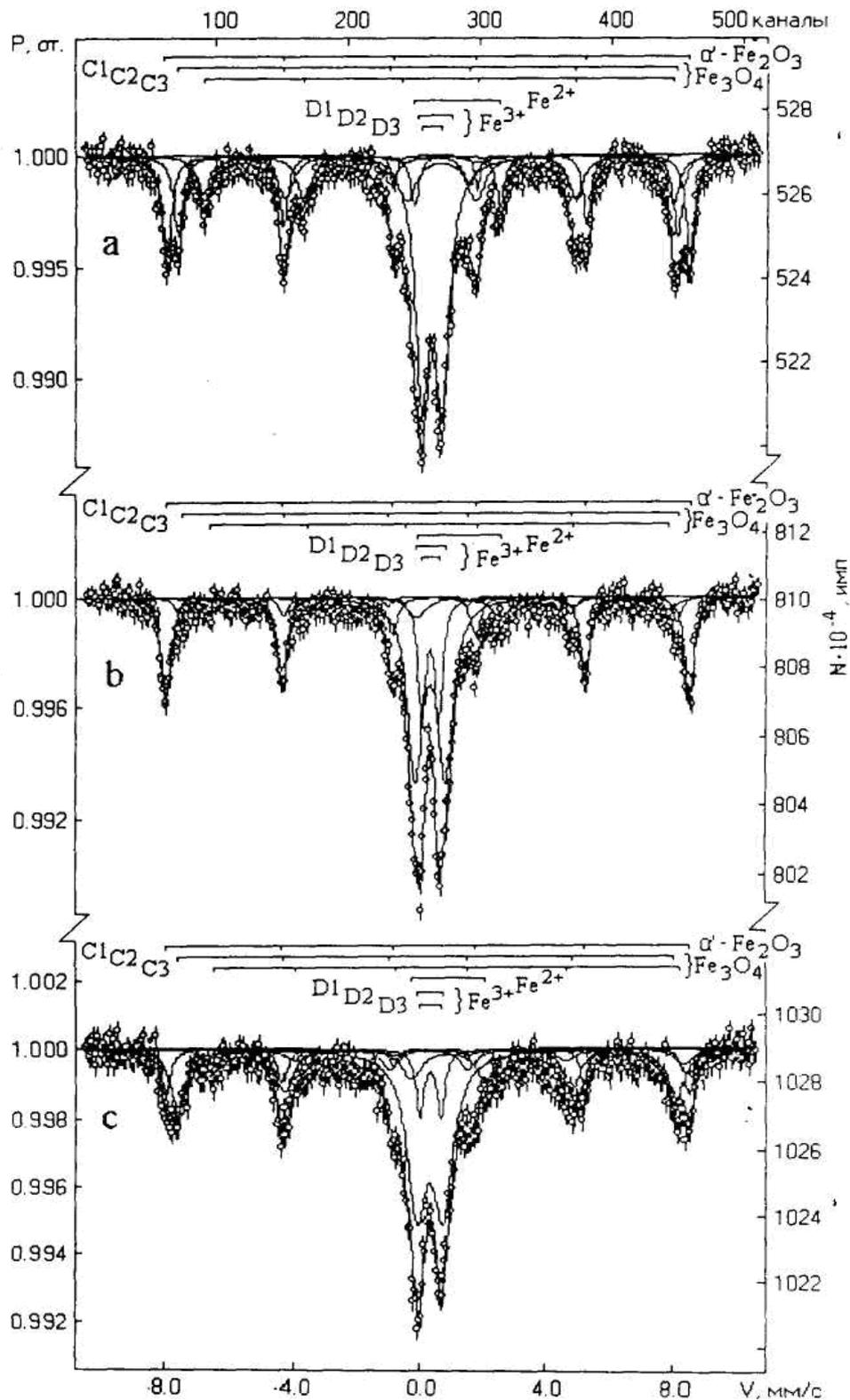


Рис. 7. Мессбауэровские спектры образцов технозема (разрез б): а – гор. U_1 (0 – 18 см), б – гор. U_2 (44 – 54 см), с – гор. U_3 (82 – 92 см), Компоненты спектра: $C_{1,2,3}$ – сикстеты, $D_{1,2,3}$ – дублеты; P – вероятность резонансного эффекта; N – число импульсов в канале; $V, \text{мм/с}$ – скорость движения источника γ излучения

При увеличении степени загрязнения тяжелыми металлами почв возрастает не только относительное содержание техногенных гематита и магнетита, но и их абсолютное содержание, соответственно, от 0,2 и 0,1% до 1,8 и 3,1% (рис. 8).

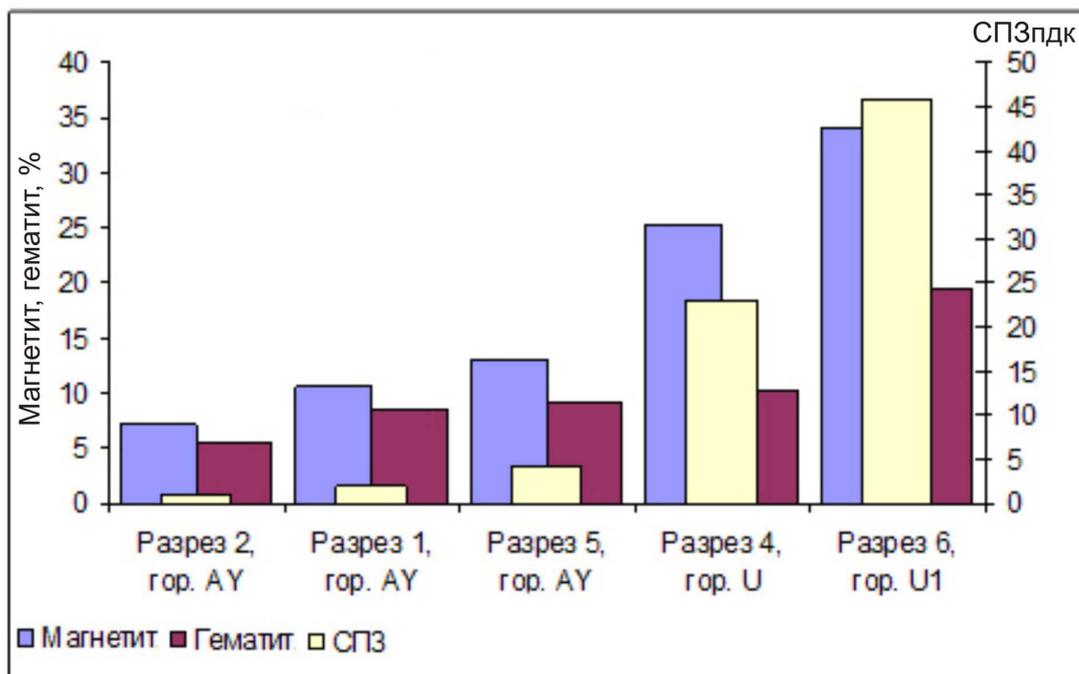


Рис. 8. Доля магнетита и гематита (%) от всех железосодержащих фаз в поверхностных горизонтах почв и загрязненность тяжелыми металлами (СПЗ_{ПДК}) г. Чусового, 2009 г.

Содержание гематита закономерно возрастает вместе с увеличением магнетита. В почвах микрорайона Старый город содержание техногенных минералов значительно выше.

Внутрипрофильное распределение магнетита характеризует его техногенность, под которой понимается доля техногенного компонента в процентах от валового содержания в почве (табл. 7). Техногенность рассчитана по методике, основанной на подсчете коэффициента обогащения компонента (КО) относительно почвообразующей породы. При этом содержание металла нормируется на содержание алюминия как консервативного элемента, находящегося преимущественно в составе алюмосиликатов [237]:

$$KO = (Me_A : Al_A) : (Me_C : Al_C), \quad (1),$$

где Me_A и Me_C – валовое содержание Fe_3O_4 (или какого-либо ТМ) в горизонтах АУ и С; Al_A и Al_C – валовое содержание алюминия в горизонтах АУ(У) и С. После этого рассчитывали долю техногенности Tg из выражения [237]:

$$Tg = 100 \times (KO - 1) : KO. \quad (2)$$

Таблица 7. Техногенность Tg магнетита (Fe_3O_4) в почвах города Чусового (% от валового)

Разрез, почва	Tg	Разрез, почва	Tg
1. Дерново-подзолистая	97	13. Агродерново-подзолистая оглеенная	42
4. Урбосерогумусовая	99	14. Агродерново-подзолистая	86
6. Технозем	87	15. Агродерново-подзолистая	87
11. Агрозем	95	16. Агродерново-подзолистая	96
12. Агрозем	90	В среднем по г. Чусовой	83

Средняя техногенность магнетита в почвах составила 83%. В почвах на территории многоэтажной застройки она выше. Минимальная техногенность наблюдается в агродерново-подзолистой почве (разрез 13) поселка Антыбары, где большая часть техногенного магнетита растворяется в восстановительных условиях.

Нами была установлена достоверная корреляционная связь содержания магнетита с ТМ (табл. 8).

Таблица 8. Коэффициенты корреляции содержания ТМ и магнетита в почвах г. Чусового ($n = 11$)

Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Mn	Fe
0,9*	0,8*	0,7*	0,6	0,7*	0,8*	0,6*

* - достоверно при $P = 0,95$

Однако практическое применение данной зависимости ограничено, так как прямое определение содержания магнетита является дорогостоящим анализом. Для выявления загрязненности почв ТМ используются экспресс-методы косвенного определения содержания магнетита, основанные на измерении магнитной восприимчивости почв [53, 181, 182].

Таким образом, наиболее высоко содержание магнетита в почвах микрорайона многоэтажной застройки Старый город. Техногенная форма магнетита выявляет роль железосо-

держащих отходов ОАО «ЧМЗ» в загрязнении почв города. Это связано с тем, что магнетит представляет собой почти чистый продукт техногенеза – содержание его в почвах, удаленных от крупных промышленных предприятий на 80 – 100 км (Карагайский, Ильинский районы Пермского края), ничтожно [28, 52].

4.2. Магнитная восприимчивость почв

4.2.1. Магнитная восприимчивость как критерий экологической оценки почв

Магнитная восприимчивость является физическим свойством почв и характеризует их способность намагничиваться [13, 144, 256]. Величина магнитной восприимчивости почв в первую очередь зависит от содержания в них сильномагнитных оксидов железа, к которым относятся магнетит и маггемит [13]. В почвах с высокими значениями удельной магнитной восприимчивости ($> 300 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) в значительных количествах содержатся сильномагнитные крупнокристаллические частицы магнетита и маггемита. Профильное распределение магнитной восприимчивости определяется типом почв, геохимическими особенностями местности, характером и степенью техногенного воздействия на почвенный покров [54]. Максимум магнитной восприимчивости всегда отмечается в верхних горизонтах, менее выражено ее увеличение в иллювиальных горизонтах, минимальные значения наблюдаются в элювиальных горизонтах и породе [6, 144, 194]. Основной вклад в магнитную восприимчивость почв с высокой удельной поверхностью вносят крупные изометрические и окатанные литогенные частицы магнетита [99].

Изучению магнитной восприимчивости почв Среднего Предуралья посвящено множество работ [28, 52, 124, 144, 186, 192, 203]. Детальные исследования были выполнены на почвах Удмуртской Республики. Работами Т.П. Ивановой [109], Л.А. Обыденновой [164], В.П. Ковриго [124] и др. уста-

новлена положительная корреляционная связь магнитной восприимчивости почв Удмуртии и других регионов с основными их свойствами (рН, сумма обменных оснований, степень насыщенности основаниями и др.), а также степенью окультуренности. В результате изучения профильного распределения магнитной восприимчивости выявлены морфотипичные магнитные профили преобладающих типов почв Среднего Предуралья. Исследователями предложено использовать магнитную восприимчивость как информативный показатель при диагностике типов почв, составления рекомендаций для рационального использования почв сельскохозяйственного назначения (определения степени окультуренности, балла бонитета, нуждаемости в известковании и т.д.).

Начиная с конца 80-х годов прошлого века, исследования магнитной восприимчивости почв все чаще стали применяться для изучения их техногенной загрязненности тяжелыми металлами. Загрязненные тяжелыми металлами почвы на территориях техногеохимических аномалий имеют повышенные значения магнитной восприимчивости [26, 55, 105, 252, 281]. По величине магнитной восприимчивости в почвах можно диагностировать наличие ферримагнитных и парамагнитных ионов таких тяжелых металлов, как Mn, Cr и Ni [95]. Так, было установлено, что на юге Западной Сибири (Новосибирская область) объемная магнитная восприимчивость почв фоновых территорий составляет 20×10^{-5} СИ, а на участках с повышенным загрязнением тяжелыми металлами она равна 30×10^{-5} СИ. Аномальные участки характеризовались значениями 60×10^{-5} СИ. Магнитная восприимчивость почв с максимальным уровнем загрязнения тяжелыми металлами достигает значения 300×10^{-5} СИ [230]. Принципиальные отличия почв техногенно-загрязненных районов от почв вне зоны техногенного воздействия были установлены О.А. Миковым [156]. По полученным автором данным, участки с максимальными значениями магнитной восприимчивости

почв приурочены к аномалиям содержания тяжелых металлов в почвах. О.А. Страдина [203] на почвах Удмуртии установила аналогичный характер распределения по профилю магнитной восприимчивости и содержания тяжелых металлов. Магнитная восприимчивость загрязненных тяжелыми металлами почв Удмуртии имеет тесную связь с содержанием Pb, Cu, Zn, Cr и Ni.

Таким образом, идентификация техногенных оксидов железа в районе действия металлургических предприятий может быть осуществлена методом определения магнитной восприимчивости. Каппаметрия позволяет быстро и без существенных затрат установить загрязнение почв техногенными железистыми минералами.

Определение объемной магнитной восприимчивости (α) выполнялось в полевых условиях в период с 2007 по 2009 гг. каппаметром КТ – 6 (Чехия) в 10 – 12-кратной повторности на наблюдательных площадках размером 1м². Шаг опробования 200 м. Всего заложено 420 площадок, получено около 4500 единичных значений $\alpha \times 10^{-3}$ СИ. Одновременно на 43 наблюдательных площадках методом «конверта» отбирались смешанные образцы из слоя 0 – 10 см для измерения удельной магнитной восприимчивости (χ) и определения содержания тяжелых металлов. В выборку были включены почвы разного использования (газоны вдоль автодорог, дворы жилых домов, скверы, садово-огородные участки и др.).

Удельная магнитная восприимчивость (χ) определена в 111 смешанных и индивидуальных образцах на приборе Каррабриге KLY-2 в ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН.

4.2.2. Профильное распределение магнитной восприимчивости

Профильное распределение отражает генетические особенности почв и их загрязнение высокомагнитными оксидами железа. Для оценки полученных результатов определения

удельной магнитной восприимчивости почв ($\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) использовались значения фона. В качестве фона нами были выбраны удаленные от промышленных источников загрязнения дерново-подзолистые почвы Карагайского района Пермского края, где удельная магнитная восприимчивость (УМВ) составляет в среднем $18 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ [28].

Коэффициент $K\chi$ по А.Ф. Вадюниной [24] показывает, во сколько раз магнитная восприимчивость верхних горизонтов почв выше восприимчивости почвообразующих пород. Расчет коэффициента измененности магнитной восприимчивости материнской породы в процессе почвообразования ($K\chi$) по А.Ф. Вадюниной [24] выполнен по следующей формуле:

$$K\chi = \frac{\chi_A}{\chi_C}, \quad (3)$$

где χ_A и χ_C – удельная магнитная восприимчивость горизонтов АУ и С.

В условиях загрязнения почв металлургическим производством данный коэффициент позволяет оценить накопление на поверхности почвы техногенных высокомагнитных оксидов железа.

Почвы микрорайонов многоэтажной застройки. В дерново-подзолистой почве (разрез 1) на территории микрорайона Новый город удельная магнитная восприимчивость резко снижается с глубиной при переходе от горизонта АУ к горизонту ЕL от 224 ± 25 до $34 \pm 3 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рис. 9). В средней и нижней частях этой почвы значения удельной магнитной восприимчивости уменьшаются постепенно, достигая минимального значения $10 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ на глубине более 1м, что связано с диамагнитностью карбонатной подстилающей породы. Аккумулятивный характер кривой удельной магнитной восприимчивости свидетельствует о накоплении в гумусовом горизонте АУ разреза 1, высокомагнитных соединений железа, что подтверждают данные мессбауэровской спектроскопии. В горизонте АУ дерново-подзолистой почвы магнит-

ная восприимчивость меньше почти в 7 раз чем в горизонте U технозема, но отношение K_{χ} в этой почве высокое – 24.

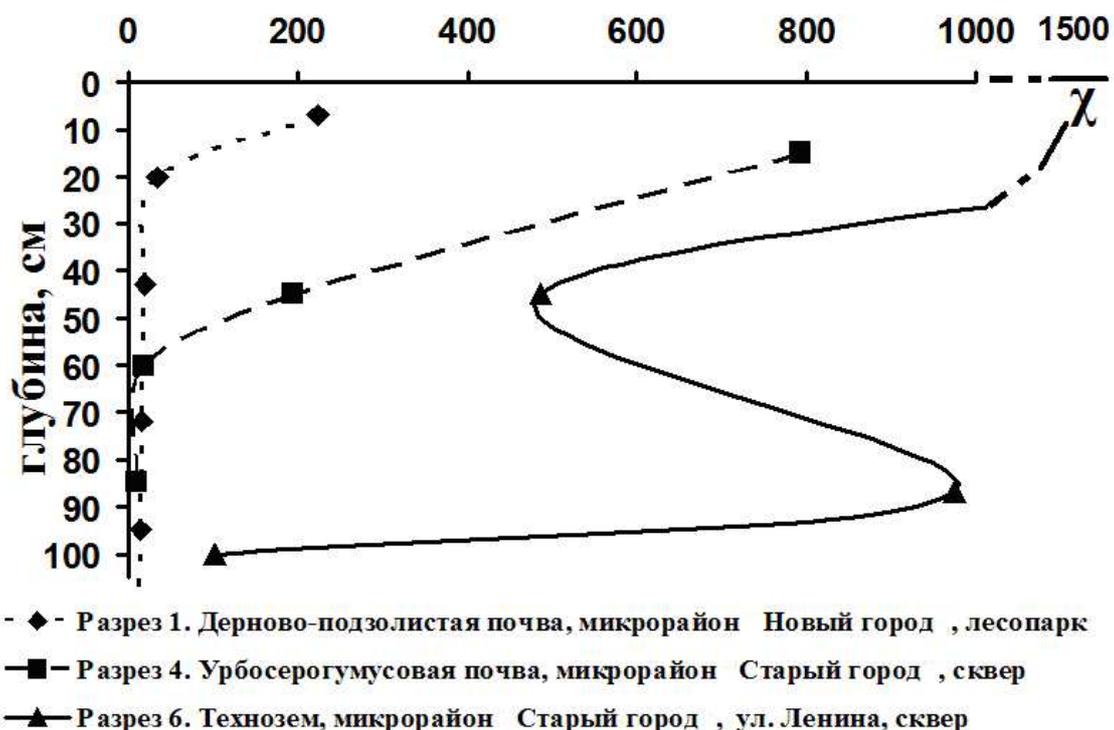


Рис. 9. Профильное распределение удельной магнитной восприимчивости почв территории многоэтажной застройки, г. Чусовой, 2008 г.

Почвы микрорайона Старый город имеют более высокие значения удельной магнитной восприимчивости чем в Новом городе. Распределение магнетиков по профилю различается между техноземом и урбосерогумусовой почвой (рис. 9). Более высокой восприимчивостью характеризуется технозем. Вниз по профилю разреза б восприимчивость снижается от 1500 ± 203 до $500 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ в слое 40 – 60 см., а затем вновь возрастает до $1000 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ в слое 80 – 100 см, что должно быть связано с неоднородностью магнитных свойств материалов, использованных при формировании профиля технозема. Удельная магнитная восприимчивость подстилающей породы на глубине 1 м ниже в 10 раз, чем в горизонте U_3 .

Величина удельной магнитной восприимчивости урбосерогумусовой почвы вниз по профилю резко уменьшается

от $800 \pm 89 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ - в горизонте U до $200 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ - в горизонте St_1 . В нижележащих карбонатных горизонтах этой почвы удельная магнитная восприимчивость находится в пределах всего $30 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Отношение K_χ урбосерогумусовой почвы максимальное для почв города и составляет 82,5.

Микрорайоны малоэтажной жилой застройки. В связи с влиянием природных и техногенно-антропогенных факторов формирования почв садово-огородных участков величина их магнитной восприимчивости варьирует в широком интервале. В соответствии со шкалой Ю.Н. Водяницкого [34], умеренно-высокие значения удельной магнитной восприимчивости имеют агроземы микрорайонов Камасино и Чунжино (рис. 10).

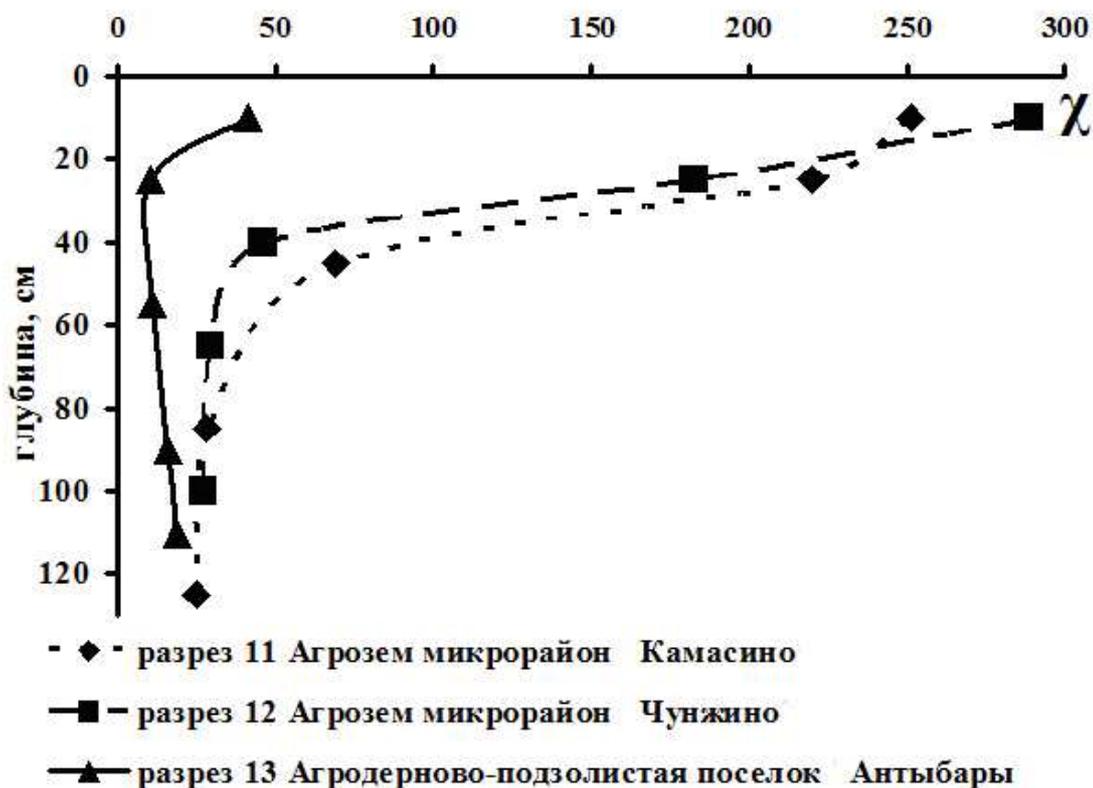


Рис. 10. Профильное распределение удельной магнитной восприимчивости почв садово-огородных участков, г. Чусовой, 2006 г.

При этом удельная магнитная восприимчивость горизонта P почвы микрорайона Чунжино (разрез 12) составляет

$288 \pm 13 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, что несколько выше магнитной восприимчивости горизонта Р агрозема (разрез 11) в микрорайоне Камасино, где она составляет $253 \pm 31 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Наиболее удаленна от источника выбросов высокомагнитных соединений территория поселка Антыбары. Здесь агродерново-подзолистая глеевая почва (разрез 13) характеризуется низкой величиной магнитной восприимчивости горизонта АУ - всего $41 \pm 2 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, что соответствует фоновой величине. Оглеение профиля также определяет снижение магнитной восприимчивости агродерново-подзолистой глеевой почвы в поселке Антыбары.

Аккумулятивный характер распределения магнетиков по профилю агроземов отражает аэральный характер загрязнения территории садово-огородных участков города высокомагнитными соединениями. Магнитная восприимчивость верхних горизонтов агроземов в 10 раз выше, чем в почвообразующей породе (рис. 10).

Почвы острова Закурье. Аллювиальные серогумусовые почвы на острове Закурье испытывают высокую техногенную нагрузку от ОАО «ЧМЗ», так как территория острова находится на расстоянии всего 500 - 1000 м на юг от источника выбросов магнитных оксидов железа. Почвы острова аккумулируют значительные количества техногенного магнетита, одной из особенностей которого является оседание крупных частиц вблизи источника выбросов.

Удельная магнитная восприимчивость горизонта АУ в разрезе 5 на высокой пойме составляет $368 \pm 53 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а на низкой пойме острова в разрезе 3 она в несколько раз ниже – $148 \pm 8 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рис. 11). Такие различия можно объяснить частичным смывом высокомагнитных оксидов с поверхности почвы во время паводка, регулярными отложениями аллювия, что нарушает прогрессивный характер накопления техногенного магнетита на поверхности почвы.

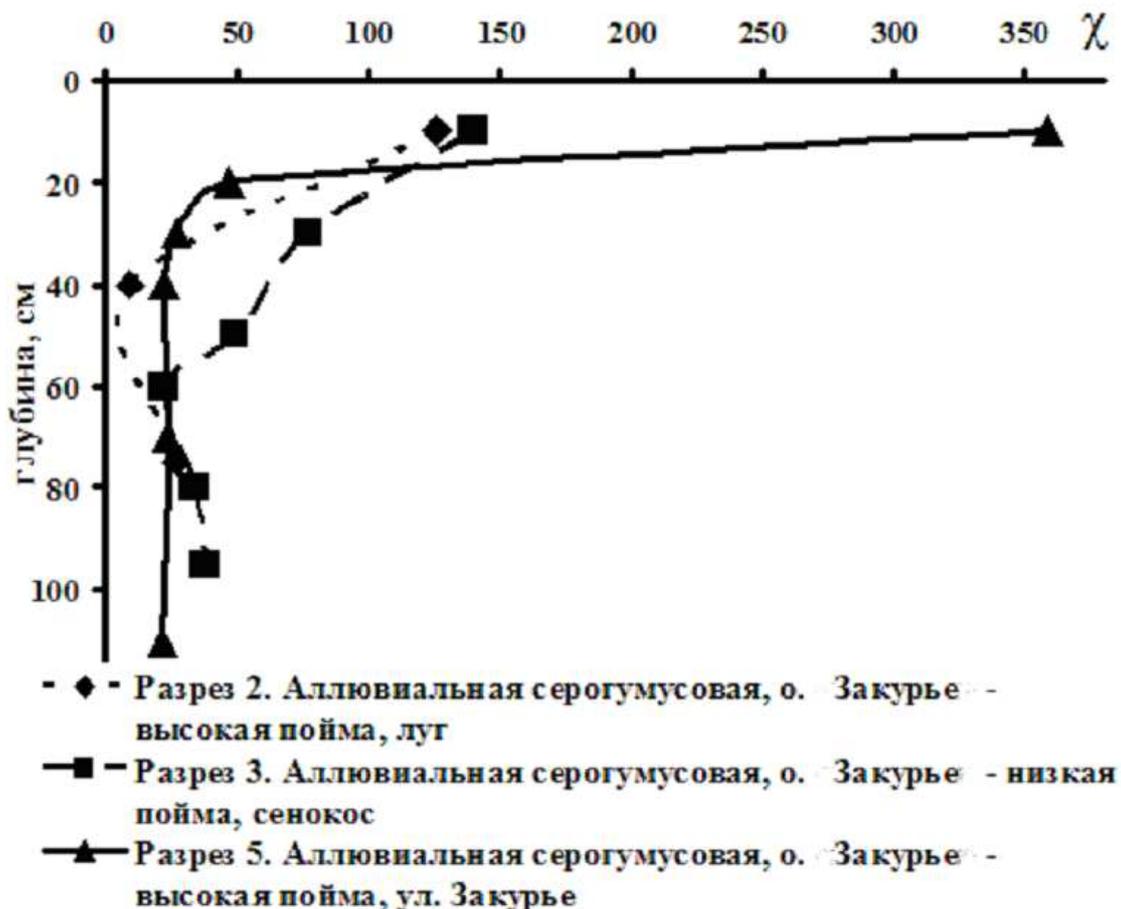


Рис. 11. Профильное распределение удельной магнитной восприимчивости почв о. Закурье, г. Чусовой, 2008 г.

Кривые профильного распределения удельной магнитной восприимчивости указывают на аккумулятивный характер загрязнения аллювиальных почв. Значения удельной магнитной восприимчивости верхних горизонтов в несколько раз выше значений в слое C_3 на глубине 60 см. Аккумулятивный характер распределения удельной магнитной восприимчивости свидетельствует о выпадении с пылью атмосферных выбросов значительных количеств техногенного магнетита на поверхность о. Закурье вблизи ОАО «ЧМЗ». Подобные закономерности изменения удельной магнитной восприимчивости наблюдаются и в аллювиальной серогумусовой почве низкой поймы.

Окрестности микрорайона Красный поселок. Верхние горизонты агродерново-подзолистых почв окрестностей микрорайона Красный поселок имеют магнитную восприимчи-

вость поверхностных горизонтов в 4-5 раз выше фона. Профильное распределение удельной магнитной восприимчивости, как и на всей территории города, свидетельствует о резко выраженном аккумулятивном характере распределения соединений, обладающих магнитными свойствами (рис. 12). В верхнем гумусовом горизонте значения магнитной восприимчивости достигают $178 \pm 16 - 722 \pm 116 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, что многократно превышает фон. В подповерхностных горизонтах почв (BT_1, BT_2) удельная магнитная восприимчивость близка к фоновым значениям и составляет всего $13 - 40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.



Рис. 12. Профильное распределение удельной магнитной восприимчивости почв окрестностей микрорайона Красный поселок, г. Чусовой, 2007 г.

Минимальные значения удельной магнитной восприимчивости выявлены в горизонте ЕL. Отношение K_{χ} в агроземах и агрдерново-подзолистых почвах высокое и составляет от 10 до 48. Абсолютное значение удельной магнитной восприимчивости и распределение по профилю почвы магнит-

ных соединений подтверждают техногенную природу магнетиков и их аэральное поступление в почву. Ранее, аналогичное аккумулятивное распределение магнетиков было установлено И.Г. Важениным с соавторами [26] на примере почв территории в зоне выбросов Череповецкого металлургического завода.

4.2.3. Магнитная восприимчивость и магнетит в почвах г. Чусового

Сопоставление магнитной восприимчивости 15-ти образцов с содержанием в них ферримагнитных фаз, выявленных мессбауэровской спектроскопией, показало, что в почвах г. Чусового существует прямая зависимость ($r = 0,98$) магнитной восприимчивости от содержания магнетита (рис. 13).

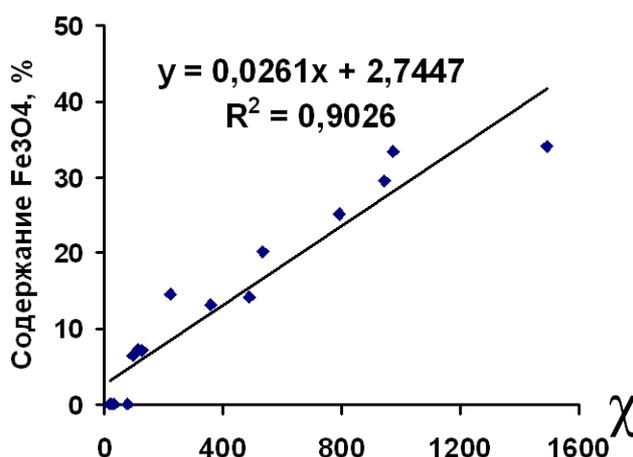


Рис. 13. Зависимость магнитной восприимчивости (χ) от содержания магнетита в почвах г. Чусового, 2009 г.

Это дало нам возможность решать обратную задачу, и по величине магнитной восприимчивости (χ) определять содержание магнетита Fe_3O_4 в почве (в мг/кг), используя следующее эмпирическое уравнение:

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 = 10^4 \times (\chi - 17) : 345, \quad (4)$$

где χ – удельная магнитная восприимчивость почвы в 10^{-8} см³/г. При $\chi < 17 \times 10^{-8}$ содержание магнетита в почве принималось равным нулю. Результаты определения содержания магнетита по величине удельной магнитной восприимчивости представлены в таблице 9.

Таблица 9. Удельная магнитная восприимчивость $\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, коэффициенты $K\chi$ по А.Ф. Вадюниной [24], теоретическое содержание магнетита Fe_3O_4 (мг/кг) и содержание Fe (%) в почвах г. Чусового и его окрестностей, 2008 г.

Горизонт, глубина см	$\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Fe_3O_4	Fe
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва: м-н Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк, $K\chi = 24$			
AY, 3 – 12	224,0±25,1	6000	2,97±0,11
EL, 15 – 25	33,5±2,8	478	2,98±0,04
BEL, 38 - 48	19,2	64	4,26
BT ₁ , 67 - 77	16,1	0	5,28
D, 122 - 132	9,5	0	3,55
Разрез 4. Урбосерогумусовая: м-н Старый город, ул. Школьная, сквер, $K\chi = 82,5$			
U, 3 – 30	792,0±89,0	22464	6,07±0,30
Ct ₁ , 37 – 47	194,3±37,3	5139	3,95±0,16
Ct ₂ , 60 – 70	18,6	46	3,57
D, 84 – 94	9,6	0	3,59
Разрез 6. Технозем: м-н Старый город, ул. Ленина, сквер			
U ₁ , 0-18	1494,0±202,9	42812	7,57±0,61
U ₂ , 44 – 54	487,0	13623	8,98
U ₃ , 82-92	974,0	27739	3,32
C, 94 - 104	102,3	2472	3,77
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая: о. Закурье - высокая пойма, луг			
AY, 5 – 28	126,1±8,0	3162	4,05±0,1
C ₁ [~] , 34 – 44	9,1±5,4	0	3,6±0,015
C ₂ [~] , 70 - 80	27,1	293	3,56
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая: о. Закурье - низкая пойма, сенокос			
AY ₁ , 3 – 24	139,6±7,6	3554	3,67±0,08
C ₁ [~] , 27 – 37	77,0±8,9	1739	3,94±0,20
C ₂ [~] , 46 – 56	49,2	933	3,75
C ₅ [~] , 88 - 98	37,9	609	3,40
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая: о. Закурье - высокая пойма, ул. Закурье			
AY, 0 – 12	359,0±53,5	9913	4,37±0,18
AY, 15 – 25	46,8±40,7	864	3,82±0,11
C ₁ [~] , 29 – 37	26,9±6,1	287	3,75±0,07
C ₃ [~] , 66 – 76	23,5	188	3,98
C ₄ [~] , 108 - 118	21,1	119	3,78
Разрез 11. Агрозем текстурно-дифференцированный: садово-огородный участок, м-н Камасино, $K\chi = 10$			
P ₁ , 0-20	251,3±31,4	6791	3,79±0,07
P ₂ , 25-35	219,9	5881	3,92
BT ₁ , 35-55	69,4	1519	3,74
BT ₂ , 70-80	28,4	330	3,79
C, 122-132	25,0	232	3,65

продолжение таблицы 9

Горизонт, глубина см	$\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Fe_3O_4	Fe
Разрез 12. Агрозем текстурно-дифференцированный: садово-огородный участок, м-н Чунжино, $K\chi = 11$			
P ₁ , 0-20	288,7±13,0	7875	3,90±0,03
P ₂ , 25-35	182,7	4803	3,87
BT ₁ , 35-45	46,1	843	3,59
BT ₂ , 60-70	29,8	371	3,59
C, 95-105	27,4	301	4,07
Разрез 13. Агродерново-подзолисто-глеевая: садово-огородный участок, пос. Антыбары, $K\chi = 2$			
PY, 0-20	41,6±1,6	713	2,95±0,19
BEL, 20-30	10,7	0	3,83
BT _g , 60-70	11,1	0	3,83
G, 85-95	16,0	0	3,83
C, 105-115	18,9	55	3,83
Разрез 14 Агродерново-подзолистая (подножье склона): окрестности м-на Красный поселок, $K\chi = 4$			
PY, 2 - 10	209,5±15,0	5580	3,79±0,26
EL, 12-22	137,3±34,1	3487	3,37±0,17
BEL, 34-44	40,6	684	4,51
BT ₁ , 67 - 77	38,4	620	2,69
BT ₂ , 97 - 107	35,1	525	5,24
C, 110 - 120	48,6	916	3,56
Разрез 15 Агродерново-подзолистая (середина склона): окрестности м-на Красный поселок, $K\chi = 8$			
PY, 3 - 21	176,1±16,4	4612	3,97±0,04
EL, 22 - 32	16,3±3,0	0	3,95±0,41
BEL, 44 - 54	23,1	177	3,09
BT ₁ , 72 - 82	14,0	0	3,67
BT ₂ , 89-95	16,6	0	6,22
C, 95-105	21,7	136	5,03
Разрез 16 Агродерново-подзолистая (вершина склона): окрестности м-на Красный поселок, $K\chi = 48$			
PY, 0-20	722,6±6,4	20452	3,73±0,10
EL, 20-30	190,7±40,8	5035	3,64±0,10
BEL, 34-44	15,9	0	4,77
BT, 65-75	12,7	0	4,37
C, 86 - 96	15,2	0	3,85

Примечания: для разрезов 6, 2, 3, 5 $K\chi$ не рассчитаны

Максимальных значений удельная магнитная восприимчивость достигает в техноземе, где самое высокое содержание магнетита. При этом обращают на себя внимание похожие концентрации валового железа в горизонте U_1 технозема и горизонте U урбосерогумусовой почвы, хотя содержание магнетита во второй почве меньше в два раза. Корреляционная связь между содержанием магнетита и содержанием валового Fe низкая ($r = 0,2$). Следовательно, содержание магнетита в почвах города Чусового должно быть связано в основном не с валовым содержанием железа, а с техногенными оксидами.

Таким образом, профильное распределение ферромагнетиков в почвах г. Чусового носит четко выраженный аккумулятивный характер. Максимальные значения удельной магнитной восприимчивости выявлены в техноземе, а самые низкие, на уровне фона, - в агродерново-подзолистой почве поселка Антыбары. Высокая удельная магнитная восприимчивость поверхностных горизонтов почв связана в основном с накоплением в них техногенных форм магнетита.

4.3. Картограмма объемной магнитной восприимчивости

Картограммы объемной магнитной восприимчивости (ОМВ) являются удобными средствами визуализации данных, полученных в ходе полевых исследований. Они наглядно отражают контрастные значения магнитной восприимчивости почв в связи с характером загрязнения, позволяют четко выделять участки геохимических аномалий, а также определять площади территорий общего и локального загрязнения почв высокомагнитными соединениями и тяжелыми металлами. На сегодняшний день существует опыт составления картограмм магнитной восприимчивости почв таких крупных промышленных городов, как Москва [53], Казань [198], Саратов [181] и даже целых стран, например, Польша [275]. Составлена картограмма восприимчивости почв части г. Ижевска [203].

В соответствии с закономерностью содержания магнетита и восприимчивости, а также по результатам полевых исследований была составлена шкала объемной магнитной восприимчивости почв и шкала степени накопления техногенного магнетита. Выделение групп почв в шкалах основано на различии концентрации высокомагнитных оксидов в почвах (табл. 10).

Таблица 10. Шкалы объемной магнитной восприимчивости почв и накопления техногенного магнетита в почвах г. Чусового, 2008 г.

Степень магнитной восприимчивости	$\alpha \times 10^{-3} \text{СИ}$	Степень накопления техногенного магнетита	Содержание Fe_3O_4 , г/кг
низкая	0 – 1	низкая	0 – 5
средняя	1 – 4	средняя	5 – 10
повышенная	4 – 8	повышенная	10 – 20
высокая	8 – 12	высокая	20 – 40
очень высокая	> 12	очень высокая	> 40

Для составления картосхемы магнитной восприимчивости почв территория города была разбита на 450 квадратов площадью 4 га каждый. Измерения восприимчивости проводились в десятикратной повторности на наблюдательных площадках размером 1 м^2 , в углах квадратов. На оцифрованную карту города были нанесены результаты магнитометрической съемки с учетом средней величины магнитной восприимчивости на каждой наблюдательной площадке. В соответствии с принятой шкалой, при помощи программы Map-Info, была составлена картосхема магнитной восприимчивости почв города, которая представляет собой самостоятельный слой электронной карты города (рис. 14).

Выделение групп в шкале основано на различии концентраций высокомагнитных соединений в почвах города. Обобщение результатов пространственного распределения объемной магнитной восприимчивости почв проводилось по типам почв ландшафтов селитебной и рекреационной частей города с выделением внутри каждой ландшафтной территории ее отдельных элементов.

Таблица 11. Статистическая обработка результатов магнитометрической съемки почв г. Чусового, 2008 г.

Территория	Преобладающие почвы	Элемент ландшафта, микрорайоны	n	lim	M ±	V,%	μ _o	μ _e
1. м-н. Новый город	Урбодерново-подзолистые	Внутридворовая территория	94	0,2 – 11,0	1,3±0,1	22	0,7	0,9
		Придорожная часть	21	0,8 - 10,1	2,6±0,2	26	2,9	2,2
		Лесопарк	12	0,4 - 3,2	1,1±0,1	22	0,9	1,0
		В среднем по 1	127	0,2 – 11,0	1,5±0,1	23	0,7	1,0
2. м-н Старый город	Техноземы	Придорожная часть	74	3,7-17,1	9,4±0,6	21	10,2	8,4
		Внутридворовая территория	8	2,4 – 32,1	10,8±0,6	18	-	-
		В среднем по 2	82	2,4 – 32,1	9,6±0,6	21	10,2	8,5
3. о. Закурье	Аллювиальные серогумусовые	Высокая пойма	18	0,7 – 3,0	2,4±0,1	19	3,0	2,4
		Низкая пойма	10	0,5 – 2,2	1,2±0,1	14	1,1	1,1
		В среднем по 3	28	0,5 – 3,0	2,0±0,1	14	1,1	2,1
4. м-ны индивидуальной жилой застройки	Агроземы, агродерново-подзолистые	Поселок металлургов	39	0,4 - 3,4	1,5±0,1	17	1,4	1,4
		Лисьи гнезда	13	0,1 - 3,2	1,2±0,1	22	0,9	0,9
		Дальний Восток, Подъяловики	15	0,5 - 7,9	1,9±0,2	23	1,8	1,8
		Красный поселок	11	0,1 - 6,4	2,6±0,2	24	3,3	2,8
		Шибаново, Камасино, Чунжино	100	0,1 – 3,8	1,4±0,1	17	1,6	1,2
		Углежжение	24	0,7 – 12,8	4,1±0,5	36	2,3	2,5
		В среднем по 4	201	0,1 – 12,8	2,2±0,1	23	1,4	1,5

Примечания: μ_o – мода; μ_e – медиана; - не определено

Микрорайоны многоэтажной застройки. В микрорайоне Новый город наиболее загрязнены высокомагнитными соединениями почвы, прилегающие на расстоянии до 5 м к автомагистралям с интенсивным движением автотранспорта по улицам Чайковского, 50 лет ВЛКСМ и улице Мира. Магнитная восприимчивость составляет здесь $(3 - 5) \times 10^{-3}$ СИ, что в несколько раз выше, чем в почвах внутривороневых территорий. В различных частях микрорайона Новый город выявлены небольшие по площади ареалы почв с восприимчивостью до $8 - 10 \times 10^{-3}$ СИ, что свидетельствует о локальном характере техногенного загрязнения высокомагнитными соединениями этой территории. Так, например, на игровой площадке детского сада «Колосок» по ул. 50 лет ВЛКСМ восприимчивость равна 8×10^{-3} СИ, а на газоне возле общежития медицинского училища по той же улице значение ОМВ составляет 4×10^{-3} СИ.

Загрязнение почв магнетиками происходит как аэральным путем, так и за счет привнесения отходов металлургического производства в виде антигололедных средств ухода за дорогами, а также в составе почвенно-грунтовых смесей при озеленении территории. В дерново-подзолистых почвах под естественными пихтово-еловыми участками леса, сохранившимися на территории микрорайона Новый город внутри жилых кварталов, восприимчивость составляет только $(0,4 - 3,2) \times 10^{-3}$ СИ, что несколько выше значений фона для почв Пермского края – $0,3 - 0,5 \times 10^{-3}$ СИ [40]. Следовательно, почвы территории микрорайона Новый город имеют локальное техномагнитное загрязнение. При общей оценке магнитной восприимчивости почв территории микрорайона Новый город с учетом более чем двухкратного превышения фоновых значений – $0,5 \times 10^{-3}$ СИ, следует констатировать их слабое аэральное загрязнение ферромагнетиками до $1,5 \times 10^{-3}$ СИ (табл. 11).

Почвы микрорайона Старый город имеют самые высокие для территории города Чусового значения объемной магнитной восприимчивости. В почвах жилого массива между

улицами им. Ленина – им. Фрунзе восприимчивость составляет более 9×10^{-3} СИ, а в техноземах и урбаноземах жилой застройки по улицам Школьная-Переездная-Орджоникидзе и в районе Дворца культуры металлургов она еще выше – 12×10^{-3} СИ, а в отдельных случаях достигает $(20 - 30) \times 10^{-3}$ СИ. Следовательно, территория Старого города является ареалом повышенного техногенного накопления высокомагнитных соединений железа.

В отличие от территории Нового города в микрорайоне Старый город практически нет чистых участков почвы. Загрязнение охватывает придорожную часть улиц, внутривороневую территорию, скверы, газоны, территории поликлиник, школ и детских садов.

Почвы острова Закурье. Объемная магнитная восприимчивость аллювиальных серогумусовых почв о. Закурье значительно ниже, чем в Старом городе и варьирует от 0,5 до $3,0 \times 10^{-3}$ СИ. Магнитная восприимчивость почв на территории острова возрастает от периферии к центру. Объемная магнитная восприимчивость свежего аллювия на низкой пойме возле русла реки Чусовой изменяется от 0,2 до $0,4 \times 10^{-3}$ СИ, что соответствует фону. На низкой пойме значения восприимчивости почв составляют $(0,5 - 0,7) \times 10^{-3}$ СИ. На высокой пойме ОМВ в аллювиальных почвах постепенно возрастает до $(1,1 - 1,5) \times 10^{-3}$ СИ. В зоне жилой застройки по улице Закурье магнитная восприимчивость гораздо выше и варьирует от 2,5 до $3,5 \times 10^{-3}$ СИ.

Почвы микрорайонов индивидуальной жилой застройки. На удаленных от завода (на 1500 – 2500м) высоких надпойменных террасах ($h > 180$ м) в микрорайонах Поселок металлургов и Лисьи гнезда магнитная восприимчивость агродерново-подзолистых почв средняя - от 1,2 до $1,5 \times 10^{-3}$ СИ. В почвах микрорайонов Дальний восток, Подъеловики ($h = 130$ м, на расстоянии 2500 - 3000 м на север от завода) и Красный поселок ($h = 160$ м, на расстоянии 1500 м на северо-

восток от завода), восприимчивость возрастает до - $1,9 - 2,6 \times 10^{-3}$ СИ. В агроземах и агродерново-подзолистых почвах микрорайонов Чунжино, Шибаново, Камасино в наиболее пониженной части города ($h = 120$ м, на расстоянии от 500 до 1200 м на юго-запад и юго-восток от ОАО «ЧМЗ»), магнитная восприимчивость несколько ниже и оценивается как средняя - $1,4 \times 10^{-3}$ СИ. Более загрязнены техногенным магнетитом агродерново-подзолистые почвы и агроземы микрорайона Углежжение ($h = 120$ м, на расстоянии 300 – 700 м на запад от завода), их восприимчивость повышенная - $4,1 \times 10^{-3}$ СИ, что, вероятно, связано с близким расположением микрорайона к шлакоотвалу завода. Наиболее часто встречаемая восприимчивость в агроземах и агродерново-подзолистых составляет $1,4 \times 10^{-3}$ СИ.

В окрестностях микрорайона Красный поселок объемная восприимчивость варьирует в диапазоне $(1,31 - 3,43) \times 10^{-3}$ СИ, что выше фоновых значений в 2 - 6 раз. Это объясняется аэральным поступлением, с преобладающим южным ветром, высокомагнитных оксидов железа от ОАО «ЧМЗ». При апробации использования величины магнитной восприимчивости как критерия диагностики загрязнения почв техногенным магнетитом были проведены измерения магнитной восприимчивости по сгущенной сетке измерения (шаг опробования 100 м) на 36 наблюдательных площадках в микрорайоне Чунжино (рис. 15).

Гистограмма объемной магнитной восприимчивости почв микрорайона Чунжино отражает возрастание магнитно-содержащей фазы от аллювиальных почв низкой поймы до агроземов и агродерново-подзолистых почв первой надпойменной террасы (рис. 15). В «молодых» почвах низкой поймы магнитная восприимчивость меньше, так как цикличность отложений аллювия сокращает период аэральная аккумуляции загрязнителей почв в поверхностном слое.

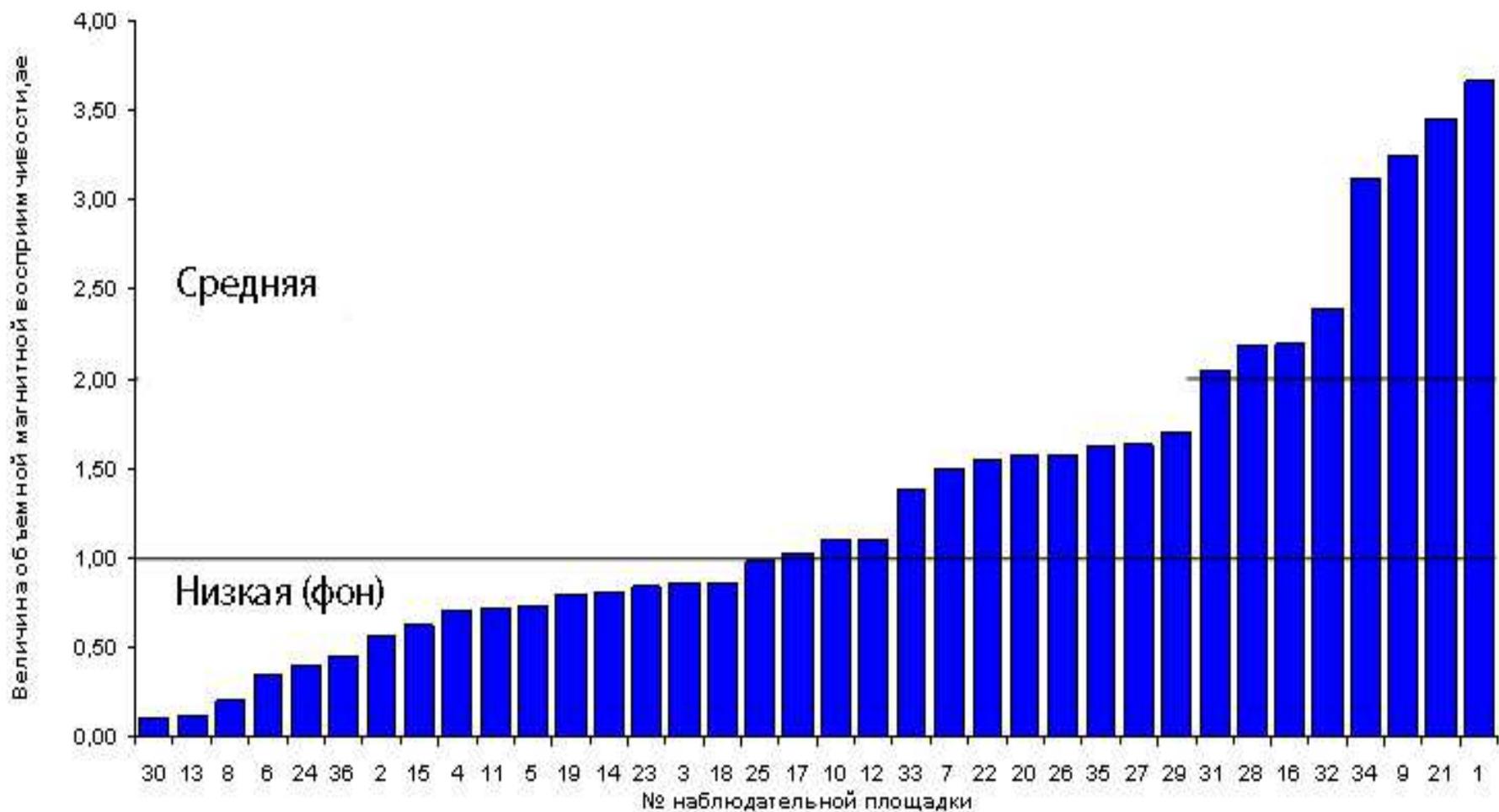


Рис. 15. Гистограмма объемной магнитной восприимчивости почв садово-огородных участков микрорайона Чунжино г. Чусового, 2008 г.

В целом для почв территории микрорайона Чунжино установлено сильное варьирование значений восприимчивости ($V = 24\%$). Очевидно, что при более крупномасштабном обследовании магнитной восприимчивости почв территории малоэтажной застройки города, пестрота их свойств и состава проявляется в большей степени, так как генезис почв и степень антропогенного вмешательства на садово-огородных участках кварталов малоэтажной застройки различная.

Таким образом, почвы г. Чусового имеют контрастные величины объемной магнитной восприимчивости. Неоднородность пространственного распределения магнитной восприимчивости на территории г. Чусового определяется абиотическими факторами, важнейшими из которых являются: котловинообразное строение территории с расположением завода в центре города, преобладающее направление перемещения воздушных масс с юга на север и удаленность от источников выбросов ферромагнетиков (рис. 16).

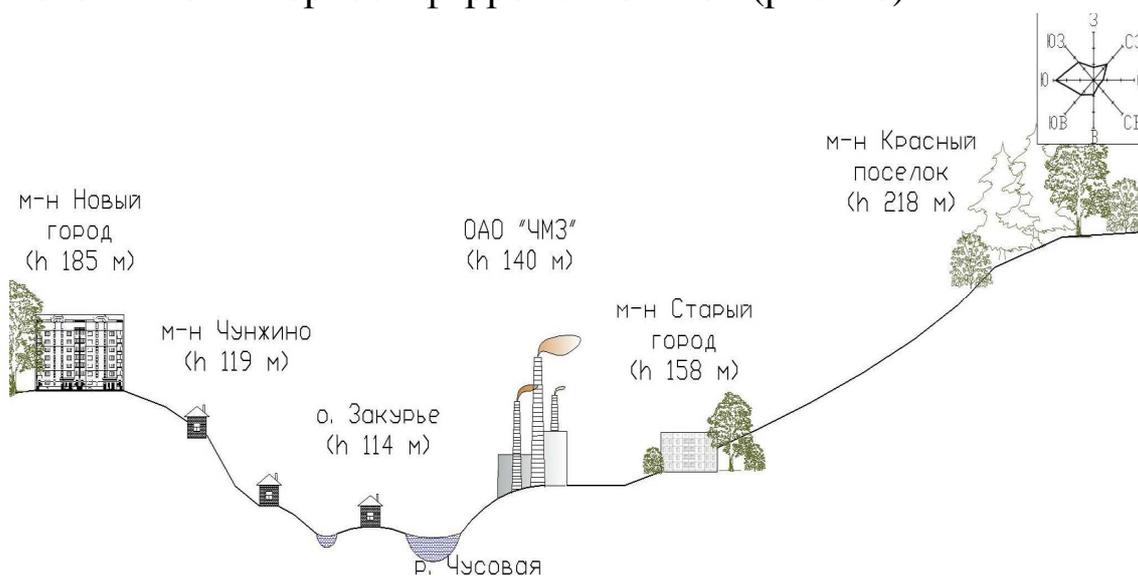


Рис. 16. Геоморфологический профиль г. Чусового по линии юг-север

Помимо этого происходит вмешательство человека в почвообразование путем привнесения техногенных оксидов железа. Электронная картосхема магнитной восприимчивости позволяет выделить на территории г. Чусового ландшафт-

ты с разной степенью накопления техногенного магнетита. Предложенные градации: низкая, средняя, повышенная, высокая, очень высокая. Повышенную и высокую степень накопления техногенного магнетита имеют почвы около 25% сельтебной территории города. Картосхема магнитной восприимчивости позволяет выявить ареалы почв с разной степенью накопления техногенного магнетита, что важно для оценки экологической ситуации в разных частях города, организации мониторинга за загрязнением почв техногенными оксидами железа и принятия природоохранных решений.

ГЛАВА 5. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ

5.1. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами 1 – 3 класса опасности и мышьяком

Содержание тяжелых металлов в почвах в районе действия крупных промышленных предприятий представляет собой сумму природного металла и техногенного. Часто формы этих металлов различаются минералогически, по подвижности, доступности растениям и другим показателям, что определяет целесообразность разделения вклада металлов разного происхождения. При экологической оценке загрязнения важно оценить техногенную составляющую содержания тяжелых металлов. Необходимость такого разделения видов тяжелых металлов (природных и техногенных) возрастает в условиях неоднородного фона, характерного для горных и предгорных областей. С такой проблемой столкнулись В.В. Никонов с соавторами [163] при изучении загрязнения почв Кольского полуострова, сформировавшихся в условиях резко меняющегося литогенного фона и испытывающих воздействие крупнейших медно-никелевых комбинатов: «Североникель» и «Печенганикель».

Определение валового содержания тяжелых металлов выполнено рентгенфлуоресцентным методом на приборе Tefa 6111 в ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН. Оценка содержания тяжелых металлов в почвах на-

ми была проведена отдельно - на городских территориях многоэтажной жилой застройки и отдельно - в микрорайонах и поселках малоэтажной жилой застройки, поскольку разные участки застройки имеют различный характер и степень загрязнения металлополлютантами. Для оценки содержания тяжелых металлов использованы ПДК [191] и кларки для почв [31]. В качестве фона были использованы подзолистые почвы заповедника «Вишерский», который расположен в наименее освоенной части Урала и удален от источников возможного техногенного воздействия промышленных предприятий Пермского края, Свердловской области и Республики Коми более чем на 100 км [44].

5.1.1. Профильное распределение тяжелых металлов

Сначала рассмотрим *профильное распределение* тяжелых металлов в почвах основных разрезов, заложенных на разных природно-техногенных и природно-антропогенных ландшафтах города Чусового. Для поверхностных горизонтов разрезов, учтены результаты химического анализа по трем прикопкам к каждому разрезу ($n = 4$).

Содержание тяжелых металлов в профиле почв относительно почвообразующей породы характеризует их техногенность. Расчеты проведены по формулам 1 и 2. Степень техногенности тяжелых металлов в почвах многоэтажной жилой застройки приведена в таблице 12. Техногенность оказалась высокой для большинства металлов: от 39% (Cu) до 71% (Cr). Ряд техногенности металлов в почвах следующий: Cr>Zn>Mn>Pb>Cu.

Таблица 12. Техногенность Tg тяжелых металлов (% от валового) в почвах микрорайонов Новый город и Старый город, г. Чусовой, 2008 г

Разрез, почва	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Mn
1. Дерново-подзолистая	0	8	60*	56*	47*	71*
4. Урбосерогумусовая	4	50*	65*	65*	91*	82*
6. Технозем	37*	49*	64*	23*	97*	67*
Среднее	16	39*	53*	43*	71*	51*

* - достоверная техногенность с $Tg > 20\%$

Почвы в микрорайонах индивидуальной жилой застройки и в окрестностях микрорайона Красный поселок имеют несколько иной ряд техногенности: $Pb > Cr > Zn > Cu > Mn$. Наблюдается доминирование техногенных частиц свинца и хрома (табл. 13).

Таблица 13. Техногенность Tg тяжелых металлов (% от валового) в почвах индивидуальной жилой застройки г. Чусового, 2008 г

Разрез, территория, почва	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Mn
11. микрорайон Камасино, агрозем	32*	67*	79*	90*	55*	51*
12. микрорайон Чунжино, агрозем	0	38*	53*	67*	31*	10*
13. пос. Антыбары, агродерново-подзолистая оглеенная	0	0	0	66*	0	6*
16. окрестности микрорайона Красный поселок, агродерново-подзолистая, вершина склона	35*	0	0	0	0	0
15. окрестности микрорайона Красный поселок, агродерново-подзолистая, середина склона	6	47*	35*	52*	54*	36*
14. окрестности микрорайона Красный поселок, агродерново-подзолистая, подножье склона	0	0	0	0	43*	24*
среднее	17	25*	28*	46*	30*	21*

* - достоверная техногенность с $Tg > 20\%$

В кислой агродерново-подзолистой оглеенной почве (пос. Антыбары) почти все тяжелые металлы растворяются, а закрепляется только техногенный свинец ($Tg = 66\%$). На вершине склона в разрезе 16 отсутствие техногенных металлов в поверхностном горизонте оказывает смыв их с почвой под влиянием эрозии. Средняя техногенность металлов на средней части склона (разрез 15) возрастает до 38% против 6% на вершине склона (разрез 16). При этом на вершине склона техногенные хром и марганец перемещаются с поверхности на глубину.

Распределение ТМ по профилю почв г. Чусового имеет неодинаковый характер. Накопление ТМ с поверхности почвы в большей степени выражено в урбосерогумусовой почве (рис. 17). В аллювиальных почвах и в техноземе, в связи с разнородностью аллювия и техногенного материала, внутри-профильное распределение сложное, с выделением максимумов и минимумов содержания ТМ в различных горизонтах.

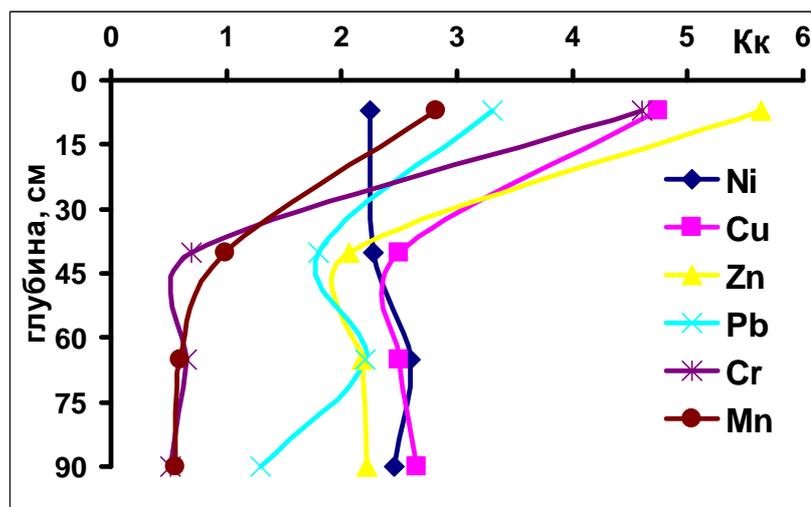


Рис. 17. Внутривертикальное распределение Кк тяжелых металлов в урбосерогумусовой почве г. Чусового, 2008 г.

Коэффициенты радиальной дифференциации (R) ТМ отражают среднее накопление Cu, Zn, Pb (R 2 – 4) в поверхностных горизонтах дерново-подзолистой почвы и агроземов, а также сильное накопление Mn и Cr (R 5 – 9) в горизонте U урбосерогумусовой почвы (табл. 14).

Таблица 14. Коэффициенты радиальной дифференциации (R) почв г. Чусового

Горизонт и глубина, см	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Mn
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва						
AУ, 3 – 12	0	1	2	2	1	2
EL, 15 – 25	1	1	1	1	1	1
BEU, 38 – 48	1	1	1	1	1	1
BT ₁ , 67 – 77	1	1	1	1	1	2
Разрез 4. Урбосерогумусовая						
U, 3 – 30	1	2	3	3	9	5
Ct ₁ , 37 – 47	1	1	1	1	1	2
Ct ₂ , 60 – 70	1	1	1	2	1	1
Разрез 11, Агрозем текстурно-дифференцированный						
P ₁ 0-20	1	2	4	1	2	1
P ₂ 25-35	1	2	2	1	1	1
BT ₁ , 40-50	1	1	1	1	1	1
BT ₂ 70-80	1	1	1	1	1	1
Разрез 12, Агрозем текстурно-дифференцированный						
P ₁ 0-20	1	2	2	1	1	1
P ₂ 25-35	1	2	2	1	1	1
BT ₁ , 35-45	1	1	1	1	1	1
BT ₂ , 60-70	1	1	1	1	1	1
Разрез 13, Агродерново-подзолистая почва						
PУ 0-20	1	1	1	1	1	1
BEUg 20-30	1	1	1	1	1	1
BTg 60-70	1	1	1	1	1	1
G 85- 95	1	1	1	1	1	1

Почвы микрорайонов многоэтажной застройки

Поверхностные горизонты дерново-подзолистой почвы (разрез 1) микрорайона Новый город по отношению к ПДК не загрязнены тяжелыми металлами 1 – 3 классов опасности, но их концентрация выше кларковых значений (табл. 15). Содержание Ni возрастает вниз по профилю и достигает максимума в горизонте ВТ, что должно быть связано с мобилизацией и миграцией этого элемента из поверхностных горизонтов в условиях кислой реакции среды. Самое высокое содержание в профиле Zn, Pb и Mn наблюдается в поверхностном горизонте АУ. Остальные элементы в профиле дерново-подзолистой почвы распределены относительно равномерно.

Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в профиле этой почвы по отношению к их кларкам показывает, что почвы обогащены Ni 3,1, Cu 2,7, Pb 1,7, As 1,6, Zn 1,3. Судя поэтому, дерново-подзолистая почва лесопарка природного ландшафта в микрорайоне Новый город обогащена металлами, повышенное содержание которых характерно для загрязненных территорий городов.

Загрязнение горизонта U урбосерогумусовой почвы (разрез 4) в микрорайоне Старый город отчетливо прослеживается по Cu, Zn, V, и Cr, содержание которых в горизонте урбик выше фоновых значений и достигает 1,7, 3,5, 12,7 и 5,0 ПДК, соответственно (табл. 15). Загрязнение тяжелыми металлами нижележащих горизонтов не выявлено, а содержание Cr и Mn в горизонтах St₁, St₂ и почвообразующей породе в десятки раз меньше, чем в верхнем горизонте. По отношению средневзвешенного профильного содержания тяжелых металлов к их кларкам в урбосерогумусовой почве можно выстроить следующий ряд: V 21,1, Cu, Zn 3,2, Ni 2,4, Pb 2,2, Cr 1,8, As, Mn 1,3. Такие кларки концентрации свидетельствуют о высокой степени техногенной нагрузки на данной территории микрорайона Старый город.

Таблица 15. Профильное распределение тяжелых металлов и As (мг/кг) в почвах микрорайонов Старый город и Новый город, г. Чусовой, 2008 г.

Горизонт и глубина, см	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cr	Mn	V	Ga	Rb	Zr	Nb
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва, микрорайон Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк												
AY, 3 – 12	60±4	43±8	102±5	4±0,9	25±3,7	168±14	965±75	< п.о.	13±0,7	74±3,6	164±3,0	9±1,2
EL, 15 – 25	74±7	32±4	55±3	6±1	10±1,1	123±7	519±99	< п.о.	5±3,1	75±1,1	184±5,8	12±0,5
BEI, 38 – 48	121	51	65	4	19	137	557	< п.о.	20	81	166	9
BT ₁ , 67 – 77	167	67	73	13	15	178	689	< п.о.	13	86	159	12
D, 122 - 132	136	58	60	9	16	130	410	< п.о.	13	74	140	10
средневзвешенное	125,9	54,0	66,3	7,9	16,5	143,4	555,2	< п.о.	13,8	78,3	157,2	10,3
Разрез 4. Урбосерогумусовая, микрорайон Старый город, ул. Школьная, сквер												
U, 3 – 30	90±7	95±18	282±44	8±2,9	33±5,7	922±123	2393±158	1897,6±712,2	9±4,1	63±2,5	162±6,8	13±1,3
Ct ₁ , 37 – 47	91±7	50±5	103±12	4±1,2	18±1,2	140±34	844±159	< п.о.	14±0,8	65±1,8	141±4,8	9±0,5
Ct ₂ , 60 – 70	104	50	109	< п.о.	22	130	511	< п.о.	10	72	159	12
C, 84 – 94	98	53	111	< п.о.	13	103	478	< п.о.	14	64	132	11
средневзвешенное	95,8	64,1	159,3	6,5	21,8	356,0	1111,2	-	11,6	65,7	148,5	11,5
Разрез 6. Технозем, микрорайон Старый город, ул. Ленина, сквер												
U ₁ , 0-18	91±13	117±32	362±68	11±3,2	61±11	1984±379	3452±427	3973,1±302,9	10±3,8	50±9,9	243±29,6	17±2,9
U ₂ , 44-54	57	42	142	269	6	87	130	< п.о.	32	30	414	21
U ₃ , 82-92	88	207	157	20	238	116	1834	< п.о.	60	26	489	25
D, 94 - 104	52	55	118	16	43	62	1138	< п.о.	22	62	346	16
средневзвешенное	67,0	80,9	179,4	163,7	53,8	411,2	1046,4	-	31,5	35,8	389,9	20,5
ПДК	85	55	100	2	30	200*	1500	150	-	-	-	-
Кларк	40	20	50	5	10	200	850	90	30	100	300	20**
Фон	27	27	61	-	27	45	854	63	-	-	-	-

Примечания: среднее ± стандартная ошибка, для n = 4; < п.о. – значение ниже предела обнаружения прибора; * - по Н. Bowen [240]; ** - по А.П. Виноградову [31]; - нет данных

Содержание тяжелых металлов в горизонте U_1 технозема (разрез б) следующее: превышение ПДК выявлено по Cu в 2 – 4 раза, в 2 – 5 раз - по Zn, и по As - от 3 до 10 раз, Pb и Mn - от 2 до 3 раз (табл. 15). Максимальное превышение ПДК установлено для Cr 6 – 12 и V 23 – 26 ПДК. В нижележащих слоях тяжелые металлы распределены в основном равномерно. Вниз по профилю технозема происходит резкое снижение содержания Mn и Cr. Слой U_3 загрязнен свинцом, содержание которого выше ПДК в 2,3 раза, что должно быть связано с химическим составом техногенного компонента U_3 , его обогащенностью органическим веществом.

Средневзвешенные значения содержаний тяжелых металлов в профиле технозема по отношению к их кларкам образуют следующий ряд: As 32,7, Pb 5,4, Cu 4,0, Zn 3,6, Cr 2,1, Ni 1,7, Zr 1,3, Mn 1,2, Ga 1,1. В этой техногенной почве наблюдается максимальная концентрация тяжелых металлов на территории многоэтажной жилой застройки города. Основной причиной высокого содержания тяжелых металлов в техноземе и урбосерогумусовой почвах микрорайона Старый город, по нашему мнению, следует считать вейстогенный фактор, а именно вовлечение в профиль почв шлака, золы, неорганической пыли и других компонентов техногенного происхождения.

Нами была установлена высокая корреляционная связь между содержанием в почвенном профиле Cu, Zn, As, Pb, Cr, Mn и объемной магнитной восприимчивостью (α) (табл. 16).

Оказалось, что физико-химические свойства почвы менее информативны для оценки загрязненности их профиля тяжелыми металлами. Между содержанием Cu, Zn, Pb, Cr, Mn, Zr, Nb и удельной магнитной восприимчивостью корреляция также высокая. Содержание Rb и Ni высоко коррелирует с содержанием ила, а Zn имеет среднюю корреляцию с суммой обменных оснований. Содержание Pb имеет высокую корреляционную связь с органическим углеродом.

Таблица 16. Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов и магнитной восприимчивостью, содержанием ила, $S_{орг}$, суммой обменных оснований в профиле почв г. Чусового

Территория, номера разрезов	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cr	Mn	Ga	Rb	Zr	Nb
Объемная магнитная восприимчивость, $a \times 10^{-3} СИ$											
м-ны Новый город и Старый город, разрезы 1, 4, 6, n = 29	-0,69	0,98	0,98	1,00	0,89	0,99	1,00	-0,63	-0,54	0,59	0,57
о. Закурье, разрезы 2, 3, 5, n = 33	0,21	0,18	0,91	0,74	0,55	0,20	-0,27	-0,08	-0,05	0,51	0,39
Чунжино, Камасино, Антыбары, разрезы 11 - 13, n = 33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
окрестности м-на Красные казармы, разрезы 14 - 16, n = 28	0,40	-0,7	0,27	-	-0,99	0,35	0,99	1,00	-0,6	0,47	0,11
Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-3} м^3/кг$											
м-ны Новый город и Старый город, разрезы 1, 4, 6, n = 29	-0,29	0,90	0,97	0,35	0,96	0,99	0,99	-0,29	-0,80	0,79	0,79
о. Закурье, разрезы 2, 3, 5, n = 33	0,23	0,33	0,89	0,44	0,62	0,36	0,43	-0,02	-0,19	-0,30	-0,2
Чунжино, Камасино, Антыбары, разрезы 11 - 13, n = 33	0,19	0,80	0,91	0,52	-0,15	0,90	0,71	0,05	-0,35	0,23	-
окрестности м-на Красные казармы, разрезы 14 - 16, n = 28	-0,07	0,07	-0,02	-	-0,08	0,02	-0,10	-0,43	0,17	0,11	0,12
Ил, %											
м-ны Новый город и Старый город, разрезы 1, 4, 6, n = 29	0,68	-	-0,4	0,14	-0,38	-0,40	-0,38	0,36	0,74	-0,25	-0,3
о. Закурье, разрезы 2, 3, 5, n = 33	-0,20	-	-0,3	0,03	-0,18	-0,34	-0,29	0,09	0,93	0,26	0,54
Чунжино, Камасино, Антыбары, разрезы 11 - 13, n = 33	-0,13	-	-0,6	-	0,01	-0,62	-0,87	0,31	0,75	-0,70	-
окрестности м-на Красные казармы, разрезы 14 - 16, n = 28	0,72	0,44	0,49	0,45	0,29	0,47	0,38	0,26	0,04	-0,57	-0,2
Сумма обменных оснований (S), мг-экв/100 г											
м-ны Новый город и Старый город, разрезы 1, 4, 6, n = 29	-0,02	0,35	0,38	0,18	0,28	0,22	0,23	-0,08	-0,58	-0,20	0,19
о. Закурье, разрезы 2, 3, 5, n = 33	0,27	0,55	0,49	0,64	0,26	0,48	0,26	-0,39	-0,55	0,15	-0,6
Чунжино, Камасино, Антыбары, разрезы 11 - 13, n = 33	0,39	0,56	0,74	0,66	-0,27	0,76	0,84	-0,10	-0,37	0,12	-
окрестности м-на Красные казармы, разрезы 14 - 16, n = 28	0,24	0,48	0,32	0,23	0,16	0,19	0,12	0,46	0,09	-0,40	0,09
Сорг, %											
м-ны Новый город и Старый город, разрезы 1, 4, 6, n = 29	-0,55	0,39	0,54	-	0,70	0,58	0,62	-0,14	-0,44	0,62	0,33
о. Закурье, разрезы 2, 3, 5, n = 33	0,11	0,33	0,88	0,23	0,61	0,28	0,38	0,06	-0,19	-0,45	-0,22
Чунжино, Камасино, Антыбары, разрезы 11 - 13, n = 33	-0,26	0,71	0,73	0,83	-0,44	0,54	0,30	0,16	-0,21	-0,23	-
окрестности м-на Красные казармы, разрезы 14 - 16, n = 28	0,18	0,42	0,12	0,04	0,26	0,16	-0,04	-0,02	0,34	0,34	0,39

Примечание: - означает не определяли

Почвы острова Закурье

Отдельно рассмотрим загрязненность тяжелыми металлами почв острова Закурье долины реки Чусовой, который расположен между микрорайонами Старый город и Новый город. По отношению к фону верхние горизонты почв обогащены тяжелыми металлами. Основным металлополлютантом аллювиальных серогумусовых почв острова Закурье является хром. Особенно загрязнена аллювиальная серогумусовая почва на низкой пойме (разрез 3). Этот разрез расположен ближе всего к металлургическому заводу. Содержание хрома здесь превышает ПДК в 1,5 и 2,1 раза в слоях $C_1^{~}$ и $C_2^{~}$, соответственно (табл. 17). Но в опесчаненном слое $C_5^{~}$ на глубине 87 – 100 см хрома содержится всего 37 мг/кг. Ассоциация средневзвешенного содержания микроэлементов по отношению к кларку в разрезе 3 имеет вид: Cu 2,5, Zn 2,1, Pb 2,0, Mn 1,5, Ni 1,4, Cr, Zr 1,1. Следовательно, основными загрязнителями низкой поймы являются техногенные тяжелые металлы, связанные с металлургическим производством.

Также нами установлено содержание хрома выше ПДК в 1,3 раза в поверхностном горизонте АУ аллювиальной почвы на высокой пойме (разрез 5). Превышение кларков микроэлементами в разрезе 5 таково: Zn, Pb - 1,9, Cu - 1,8, Mn - 1,4, Ni - 1,2, Zr - 1,1. Наиболее низкое содержание тяжелых металлов наблюдается в аллювиальной серогумусовой почве на южной части острова (разрез 2). Это вероятно связано с большей удаленностью почвы от источника аэральных выбросов. Превышение кларков микроэлементами в разрезе 2 таково: Pb, Cu - 1,8, Zn - 1,6, Ni - 1,2, Mn - 1,4, Zr - 1,1. Обращает на себя внимание повышенное содержание Zr в почвах острова, что связано с повышенным содержанием Zr в аллювии.

Поступление тяжелых металлов в почвы острова происходит не только из атмосферного воздуха с выбросами ОАО «ЧМЗ», но и гидрогенным путем во время паводка.

Таблица 17. Профильное распределение тяжелых металлов (мг/кг) и As в аллювиальных серогумусовых почвах острова Закурье, г. Чусовой, 2008 г.

Горизонт и глубина, см	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cr	Mn	Ga	Rb	Zr	Nb
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье - высокая пойма, луг											
AY, 5 – 28	62±4	32±4	92±6	-	24±3	198±28	1362±43	17±2,4	64±1,2	335±8,0	18±1,2
C ₁ [~] , 34 – 44	40±9	46±6	91±3	4	24±3	82±13	1045±41	23±2,5	59±1,3	317±4,8	17±1,3
C ₂ [~] , 70 - 80	45	33	65	5	17	116	1246	12	70	352	16
средневзвешенное	48,0	35,8	77,6	4,7	20,3	128,0	1227,5	15,8	66,0	339,8	16,7
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье - высокая пойма, сенокос											
AY, 3 – 24	55±6	43±3	130±9	6±1,7	20±4	174±11	1206±55	14±3,4	55±1,9	357±17,3	16±1,1
C ₂ [~] , 27 – 37	48±4	67±15	113±5	5±1,4	25±3	308±57	1032±96	12±1,0	65±3,2	393±20,4	14±1,1
C ₄ [~] , 46 – 56	55	67	88	< п.о.	20	424	1634	12	59	334	11
C ₇ [~] , 88 - 98	62	25	81	4	13	34	1278	18	49	266	13
средневзвешенное	54,8	49,8	107,1	5,2	19,7	226,3	1262,8	14,0	57,0	341,9	13,9
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье, ул. Закурье – высокая пойма, газон											
AY, 0 – 12	54±10	57±11	168±16	5±1,2	28±6,1	251±19	1491±138	18±1,2	64±0,9	278±2,5	14±0,9
AY, 15 – 25	45±6	35±4	108±16	4±0,7	18±0,8	142±23	1046±43	13±2,3	71±1,1	308±6,0	16±0,9
C ₁ [~] , 29 – 37	55±10	29±6	87±2	< п.о.	16±0,6	58±11	1046±80	20±2,7	66±2,5	347±3,8	19±1,6
C ₃ [~] , 66 – 76	64	49	79	< п.о.	22	116	1386	18	81	335	17
C ₄ [~] , 108 – 118	38	25	87	< п.о.	15	130	1053	18	81	333	16
средневзвешенное	48,2	35,8	95,8	4,4	18,5	135,3	1179,8	17,5	77,0	325,7	16,3
ПДК	85	55	100	2	30	200*	1500	-	-	-	-
Кларк	40	20	50	5	10	200	850	30	100	300	20**
Фон	27	27	61	-	27	45	854	-	-	-	-

Примечания: среднее ± стандартная ошибка, для n = 4; < п.о. – значение ниже предела обнаружения прибора; * - по Н. Bowen [240]; ** - по А.П. Виноградову [31]; - нет данных

Это связано с тем, что река Чусовая сильно загрязнена в результате деятельности промышленных предприятий Свердловской области. Так, ниже города Первоуральска, среднегодовое содержание в речной воде соединений меди составляет 44, цинка до 6, шестивалентного хрома – 9,6 ПДК. Максимальные концентрации также очень высокие: соединения меди - 59, шестивалентного хрома - 28 ПДК. Основным источником загрязнения хромом реки Чусовой является объединение «Хромпик», расположенное в Первоуральске Свердловской области [200].

На территории о. Закурье наблюдаются различные механизмы загрязнения почв в зависимости от их геоморфологической позиции. На низкой пойме в аллювиальной серогумусовой почве (разрез 3) проявляется одновременно гидрогенное и аэральное загрязнение. На высокой пойме (разрез 2), которая испытывает ограниченное влияние паводка, тяжелые металлы в почву поступают в основном аэральным путем. Почва разреза 5 в настоящее время также испытывает только аэральное загрязнение. Для аллювиальных серогумусовых почв острова Закурье нами была установлена высокая корреляция между содержанием Zn, As и объемной, удельной магнитной восприимчивостью (табл. 16). Rb имеет высокую корреляционную связь с содержанием ила. Cu, Zn, As, Cr в почве имеют среднюю корреляцию с суммой обменных оснований, а содержание Zn имеет высокую корреляцию с содержанием органического углерода.

Почвы микрорайонов индивидуальной жилой застройки

Теперь рассмотрим влияние техногенного фактора на содержание тяжелых металлов в почвах микрорайонов малоэтажной застройки и окрестностях города Чусового. Микрорайоны и поселки малоэтажной жилой застройки включают в себя большие площади садово-огородных участков.

В городе с металлургическим производством избыточное грунтовое увлажнение части садово-огородных участков

и кислая реакция среды почв привели к применению сыпучих землистых отходов, обладающих слабощелочной и нейтральной реакцией среды, в качестве мелиоранта для землевания и устранения кислой реакции среды, повышения содержания в почве элементов питания. Вместе с отходами металлургии в почвы садово-огородных участков попадают и тяжелые металлы. Кроме того, накопление тяжелых металлов в почвах садово-огородных участков происходит и за счет аэрального загрязнения атмосферными выбросами ОАО «ЧМЗ».

Агродерново-подзолистая почва поселка Антыбары (разрез 13) на расстоянии 2500 м от ОАО «ЧМЗ» не загрязнена тяжелыми металлами, содержание микроэлементов здесь находится в пределах ПДК. Превышение кларков микроэлементов в разрезе 13 таково: Pb - 3,2, As - 3,0, Cu - 2,3, Zn - 1,7, Ni - 1,4, Zr - 1,1 (табл. 18). В агродерново-подзолистой почве поселка Антыбары на глубине от 40 до 100 см отмечается увеличение содержания Ni и As, что связано с осаждением этих элементов на глеевом геохимическом барьере.

Загрязнение тяжелыми металлами агроземов в микрорайонах Камасино и Чунжино выявлено по отдельным химическим элементам. Агрозем микрорайона Камасино загрязнен Zn и Cr. При этом содержание Zn незначительно превышает ПДК, а содержание Cr составляет 1,5 ПДК. Превышение кларков ТМ в почве садово-огородного участка микрорайона Камасино таково: As - 6,4, Pb - 3,3, Zn - 2,5, Cu - 2,1, Ni - 1,5, Mn, Zr - 1,3, Cr - 1,1. Сильнее всего загрязнены тяжелыми металлами почвы садово-огородных участков в микрорайоне Чунжино. Так, в верхних горизонтах агрозема этого поселка содержание Pb составляет 1,2 ПДК; Zn - 2,0 ПДК и Cr - 1,3 ПДК (табл. 18). Превышение кларков тяжелых металлов в почве садово-огородного участка микрорайона Чунжино таково: Pb - 3,2, As - 3,0, Cu, Zn - 2,2, Ni - 1,7, Mn - 1,6, Zr - 1,3. В горизонтах профиля (BT₁, BT₂) разреза 12 содержание Cu, Pb и Zn меньше, чем в вышележащей толще.

Таблица 18. Профильное распределение тяжелых металлов и As (мг/кг) в почвах малоэтажной застройки и окрестностей города Чусового, 2006 – 2007 г.г.

Горизонт и глубина, см	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cr	Mn	Ga	Rb	Zr	Nb
Разрез 11. Агрозем текстурно-дифференцированный, микрорайон Камасино, садово-огородный участок											
P ₁ , 0-20	63±19	75±13	287±59	40±11	27±1	315±24	1524±63	16±1,0	73±3,9	333±5,0	-
P ₂ , 25-35	65	62	187	21	29	267	1441	13	81	359	-
BT ₁ , 40-50	53	43	114	9	33	198	1053	11	88	389	-
BT ₂ , 70-80	59	31	82	< п.о.	35	178	829	9	76	396	-
C, 122-132	58	33	78	< п.о.	33	192	1022	14	70	420	-
средневзвешенное	59,1	42,8	126,3	31,9	32,5	213,0	1067,2	11,8	76,5	387,2	-
Разрез 12. Агрозем текстурно-дифференцированный, микрорайон Чунжино, садово-огородный участок											
P ₁ , 0-20	63±1,5	56±2,5	182±26	14±4	33±1	267±9	1526±25	14±1,3	69±1,4	431±9,2	-
P ₂ , 25-35	70	56	187	< п.о.	31	253	1510	11	84	365	-
BT ₁ , 35-45	55	38	82	17	26	198	1201	12	77	386	-
BT ₂ , 60-70	71	38	68	< п.о.	34	164	1224	13	63	416	-
C, 90-105	74	37	91	< п.о.	30	198	1464	12	79	346	-
средневзвешенное	68,5	43,5	110,4	15,0	32,0	204,1	1359,5	12,6	71,1	396,3	-
Разрез 13. Агрдерново-подзолисто-глеявая, поселок Антыбары, садово-огородный участок											
PY, 0-20	46±3	42±1,4	80±3	16±5	28±2	139±12	418±15	14±0,7	87±1,3	301±6,1	-
BE _{Lg} , 20-30	51	47	74	13	28	185	356	13	91	331	-
BT _g , 60-70	49	50	82	< п.о.	35	185	356	14	89	337	-
G, 85- 95	71	46	86	< п.о.	28	185	356	14	91	341	-
C, 105-115	72	45	95	< п.о.	32	185	356	20	109	279	-
средневзвешенное	56,2	46,9	83,8	15,0	31,6	177,3	366,3	14,9	92,5	321,5	-

продолжение таблицы 18

Горизонт, глубина, см	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Cr	Mn	Ga	Rb	Zr	Nb
Разрез 14. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красный поселок, нижняя часть склона, сенокос											
РУ, 2 - 10	54±5	38±2	79±24	9±5	22±3	109±26	1200±177	13±1,2	83±7,0	258±33,4	13±1,5
ЕL, 12 - 22	50±4	38±5	68±8	14±1	27±2	66±12	689±133	16±1,8	69±2,8	180±13,3	11±0,7
ВЕL, 34 - 44	49	49	80	18	33	75	782	11	87	236	15
ВТ ₁ , 67 - 77	31	19	56	8	19	55	782	7	62	185	9
ВТ ₂ , 97 - 107	86	65	233	40	25	438	2308	17	73	164	12
С, 110 - 120	61	44	90	12	22	68	1015	15	56	144	7
средневзвешенное	48,9	37,6	91,2	15,7	24,3	117,4	1024,4	11,5	70,7	193,8	11,1
Разрез 15. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красный поселок, середина склона, сенокос											
РУ, 3-21	61±6	44±1	130±6	17±6	22±2	212±66	1379±276	16±1,5	61±6,3	186±5,8	9±0,7
ЕL, 22-32	79±7	37±7	81±3	12±2	27±5	109±7	1053±42	7±2,5	66±4,2	180±19,1	6±2,2
ВЕL, 44-54	54	39	96	20	19	130	1100	9	68	169	7
ВТ ₁ , 72-82	60	37	107	15	21	144	449	18	79	172	7
ВТ ₂ , 89-95	59	22	57	12	28	123	1696	12	56	125	7
С, 95 - 105	63	26	93	9	27	109	984	9	76	176	9
средневзвешенное	60,8	36,9	100,2	15,8	22,3	142,8	1014,2	12,3	69,2	172,1	7,4
Разрез 16. Агродерново-подзолистая, окрестности микрорайона Красный поселок, вершина склона, сенокос											
РУ, 0-20	56±17	49±3	100±24	17±3	24±4	144±32	769±142	4±3,7	82±2,0	173±10,0	10±0,6
ЕL, 20-30	55±3	47±5	100±7	17±6	22±3	185±36	1053±148	13±3,4	63±2,6	173±6,8	9±0,7
ВЕL, 34-44	75	84	109	18	36	96	511	18	104	189	13
ВТ, 65-75	43	47	94	13	22	103	349	13	80	189	11
С, 86 - 96	38	51	134	19	20	137	906	15	79	191	12
средневзвешенное	52,9	56,5	106,6	16,4	25,2	123,3	636,4	12,8	84,0	184,8	11,3
ПДК	85	55	100	2	30	200*	1500	-	-	-	-
Кларк	40	20	50	5	10	200	850	30	100	300	20**
Фон	27	27	61	-	27	45	854	-	-	-	-

Примечания: среднее ± стандартная ошибка, для n = 6; < п.о. – значение ниже предела обнаружения прибора; * - по Н. Bowen [240]; ** - по А.П. Виноградову [31]; - нет данных

Это связано с аэральным поступлением и закреплением элементов в верхних гумусовых горизонтах.

В почвах садово-огородных участков (разрезы 11 – 13) содержится Zr чуть выше значения кларка, а наиболее обогащены по отношению к кларку эти почвы Pb, As, Cu, Zn и Ni.

Нами была установлена высокая корреляционная связь между содержанием в почвах садово-огородных участков Zn, Ni, Cu, Mn, Cr и удельной магнитной восприимчивостью (табл. 16). Коэффициенты корреляции между содержанием ила и тяжелыми металлами отрицательные, но между суммой обменных оснований и содержанием Zn, Cr, Mn установлена высокая корреляция.

Содержание Zn и As имеет высокую корреляционную связь с содержанием $C_{орг}$.

Почвы окрестностей микрорайона Красный поселок

Окрестности микрорайона Красный поселок, на северо-востоке от ОАО «ЧМЗ», не испытывают сильной техногенной нагрузки на почвенный покров. Однако, среднее содержание некоторых тяжелых металлов в них выше кларка и фона. Так, в разрезе 14 средневзвешенное содержание тяжелых металлов превышает фон по Ni, Cu, Zn, Cr и Mn - в 1,8; 1,4; 1,5; 2,6; и 1,2 раз соответственно, а превышение кларков микроэлементами таково: As - 3,1; Pb - 2,4; Cu - 1,9; Zn - 1,8; Ni, Mn - 1,2 (табл. 18). Агродерново-подзолистая почва в средней части склона (разрез 15) содержит Ni, Cu, Zn, Cr, Mn выше уровня фона в 2,3; 1,4; 1,6; 3,2; 1,2 раза, соответственно. Превышение кларков тяжелых металлов в этой почве таково: As - 3,2; Pb - 2,2; Zn - 2,0; Cu - 1,8; Ni - 1,5; Mn - 1,2. На вершине склона (разрез 16) содержание Zn, Ni, Cu и Cr выше фона от 1,9 до 2,7 раза. Превышение кларков тяжелых металлов таково: As - 3,3; Cu - 2,8; Pb - 2,5; Zn - 2,1; Ni - 1,3. Агродерново-подзолистые почвы окрестностей Красного поселка обогащены As, Cu, Pb и Zn.

Содержание большинства ТМ в почвах на склоне не превышает ПДК, но их концентрация выше фона и кларка. Превышение ПДК по содержанию Zn в разрезе 15 наблюдается в верхнем горизонте почвы и в почвообразующей породе. По другим элементам загрязнения выше ПДК нет. Высокое содержание Zn по всему профилю агродерново-подзолистых почв северо-восточных окрестностей г. Чусового указывает не только на техногенную, но и на литогенную природу нахождения этого элемента в почвах.

Профильное распределение ТМ во многом зависит от реакции среды. Цинк и медь являются очень подвижными элементами в кислой среде и активно перемещаются вниз по профилю. Накопление этих элементов наблюдается в подповерхностных и нижних горизонтах почв. В результате этого зафиксировано двукратное превышение ПДК по цинку в горизонте ВТ₂ в разрезе 14 – 233 мг/кг. Никель и свинец по профилю почв перемещаются аналогично, но степень их выщелачивания, в особенности свинца, выражена меньше. Это связано со слабой подвижностью данных элементов в кислой среде. Содержание мышьяка в большинстве образцов превышает ПДК в 2,5 - 4,5 раза и изменяется в поверхностных горизонтах почв от 6 мг/кг (разрез 16) до 9 мг/кг (разрез 15). По другим элементам превышение ПДК не обнаружено.

Корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов и магнитной восприимчивостью в окрестностях микрорайона Красный поселок не выявлена. Использовать магнитную восприимчивость как индикатор высокого содержания тяжелых металлов можно только, когда уровень загрязнения в почве превышает фоновые значения в несколько раз. Ni в агродерново-подзолистых почвах высоко коррелирует с содержанием ила. Валовое содержание тяжелых металлов в этих почвах имеет слабую корреляционную связь с суммой обменных оснований и содержанием органического углерода (табл. 16).

Таким образом, в почвах, расположенных на 50 – 100 м выше ОАО «ЧМЗ», загрязненность тяжелыми металлами низкая. Средневзвешенное количество Cr и Mn в почвах территорий индивидуальной жилой застройки ниже, чем в почвах Старого города в 1,9 раза, Ni – в 1,7 раза, Cu в 1,5 раза. Но превышение кларка тяжелыми металлами в почвах на окраине города все же имеет место. В среднем содержание никеля превышает кларк в 1,4 раза, цинка – до 2 раз.

5.1.2. Пространственное распределение тяжелых металлов

Теперь рассмотрим *пространственное* распределение тяжелых металлов в верхнем десятисантиметровом слое почв в разных районах города Чусового по результатам химического анализа образцов почв из поверхностных горизонтов прикопок (n = 42). Содержание отдельных тяжелых металлов в почвах Старого города аномально высокое (табл. 19).

В почвах внутридворовых территорий и газонов по ул. Ленина выявлено превышение ПДК Cu, Zn, Pb, As, Mn, Cr и V, а в сквере Дворца культуры металлургов по ул. Ленина почвы загрязнены еще и Ni. Загрязнение тяжелыми металлами территории Старого города связано с историей его развития и застройки. При строительстве значительной части жилых домов и административных зданий микрорайона использовался шлак и другие отходы металлургического производства, содержащие в большом количестве тяжелые металлы. Кроме того, в 30 – 60-е годы XX века здания микрорайона Старый город отапливались автономными котельными с использованием угля Кизеловского бассейна, который характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов. Так, содержание V составляет 23 мг/кг сухой массы угля, Cr - 12 мг/кг, Zn - 285 мг/кг, As - 8 мг/кг, Y, Rb – 11 мг/кг [44]. Продукты сжигания угля в виде шлака, золы и сажи длительное время накапливались в почвах.

Таблица 19. Среднее содержание тяжелых металлов, мг/кг
в слое 0 – 10 см почв г Чусового, 2006 - 2008 г.г.

Элементы	Микрорайоны города Чусовой										ПДК	Кларк	Фон
	Новый город, n = 8		Старый город, n = 10		Чунжино, Лисьи гнезда, Карьер, n = 14		Красный поселок, n = 4		о. Закурье, n = 6				
	среднее	V, %	среднее	V, %	среднее	V, %	среднее	V, %	среднее	V, %			
Ni	53,9	42	113,3	54	52,1	57	86,8	42	45,2	26	85	40	27
Cu	37,1	24	100,6	53	44,6	105	83,3	62	42,3	38	55	20	27
Zn	200,4	76	338,1	48	177,6	65	276,8	68	140,7	27	100	50	61
As	8,8	43	9,1	43	7,1	35	10,3	66	5,5	18	2	5	-
Pb	56,6	175	65,9	46	31,7	64	54,0	82	21,2	33	30	10	27
Cr	165,9	44	7454,2	208	364,8	145	1857,1	139	225,7	23	200*	200	45
Mn	1392,2	46	7154,1	128	1533,0	73	3508,2	89	1278,4	24	1500	850	854
V	< п.о.	-	3832,0	63	-	-	1690	-	< п.о.	-	150	90	63
Ga	11,1	52	27,3	115	15,3	41	21,0	36	14,8	20	-	30	-
Rb	52,4	65	42,4	44	49,1	41	53,3	34	56,5	17	-	100	-
Zr	161,0	46	177,0	47	222,0	39	173,0	23	283,8	18	-	300	-
Nb	9,5	38	18,1	67	11,9	27	12,8	22	14,7	11	-	20**	-
Z _{сПДК}	6,3		73,9		5,2		28,1		3,3		-	-	-
Z _{сфон}	9,1		244,8		11,0		79,0		8,1		-	-	-

Примечания: < п.о. – значение ниже предела обнаружения прибора; * - по Н. Bowen [240]; ** - по А.П. Виноградову [31]; - нет данных

Таким образом, проявляется веистогенный фактор загрязнения ТМ почв микрорайона. Микрорайон подвергается и аэральному загрязнению ТМ, так как примыкает к производственным цехам металлургического завода и близко расположен к шлкоотвалу. По сведениям Б.В. Верихова [29] концентрация Cr и Mn в воздухе Старого города выше ПДК и, соответственно, в 3 и 7 раз выше, чем на территории Нового города. Естественно, что почвы аккумулируют из атмосферы Mn, Cr и другие тяжелые металлы. Выбросы Лысьвенско-Чусовского промышленного узла и других предприятий Среднего Урала распространяются по площади на значительную территорию. Так, в заповеднике Басеги, расположенном в 74 км. на северо-восток от г. Чусового, концентрация свинца в горизонте А₁ бурозема превышает ПДК в 4 раза, Cr - в 2 раза [141].

Аэральное и веистогенное поступление тяжелых металлов в почвы микрорайона «Старый город» привело к их существенному загрязнению. Превышение кларков тяжелых металлов в слое 0 – 10 см почв микрорайона «Старый город» таково: V 42,6; Cr 8,9; Zn 6,3; Pb 5,6; Cu 4,9; Mn 4,1; Ni 2,3; As 1,6 (рис. 18).

Обратимся к подсчету суммарного показателя загрязнения. Расчет суммарного показателя загрязнения (Z_c) проведен с предварительным расчетом коэффициентов концентрации (K_c) относительно ПДК и фона [188]:

$$K_c = C/C_{\text{ПДК, фон}} \quad (5),$$

где C – содержание элемента в почве,

C_{ПДК, фон} – значение ПДК, фона.

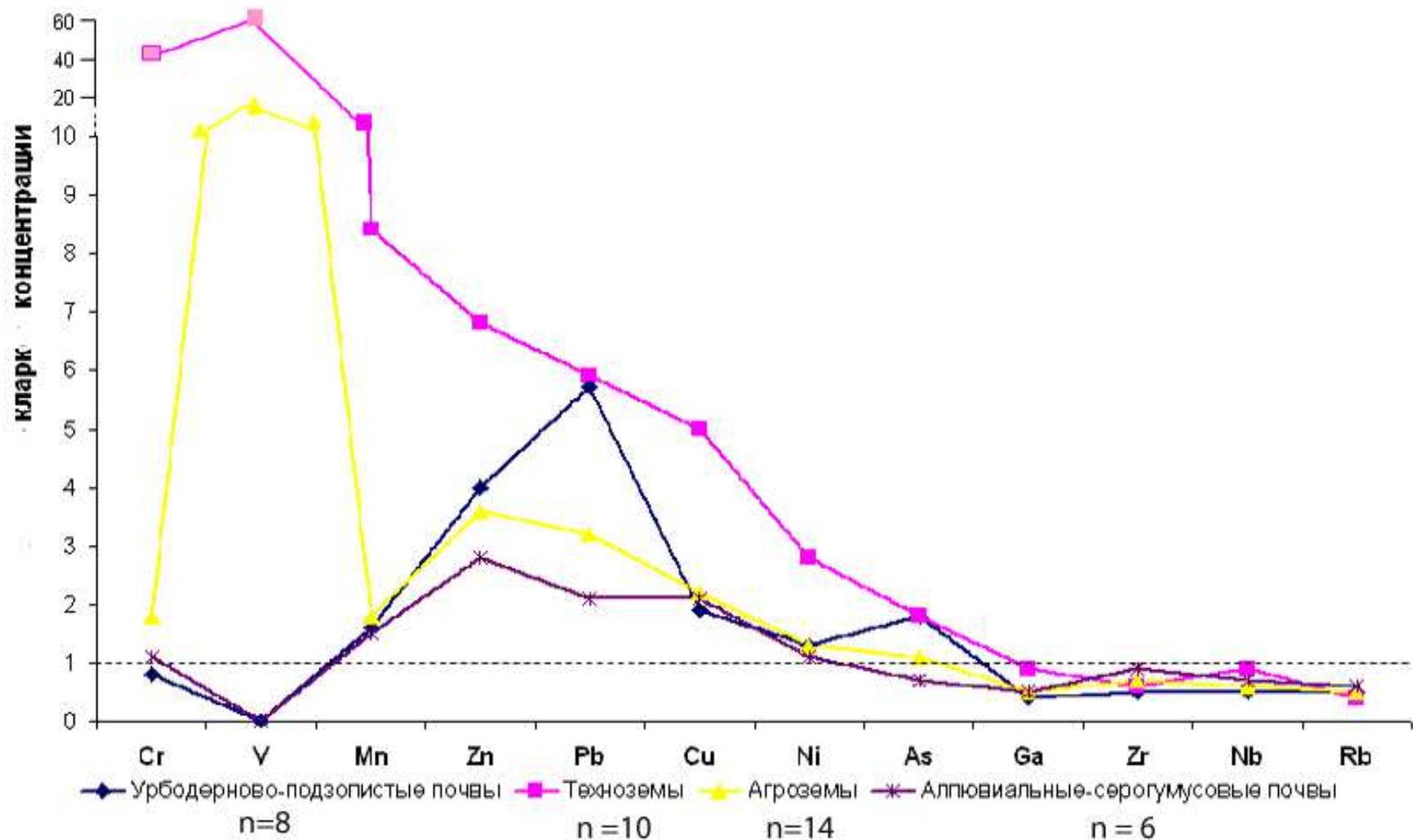


Рис. 18. Кларки концентраций элементов для почв г. Чусового в слое 0 – 10 см.

Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по отношению к ПДК ($Z_{с\text{ПДК}}$), составил 74, а по отношению к фону ($Z_{с\text{фон}}$) - 245. Это позволяет отнести почвы микрорайона Старый город к опасно загрязненным по $Z_{с\text{ПДК}}$ и чрезвычайно опасным по $Z_{с\text{фон}}$ (рис. 19).

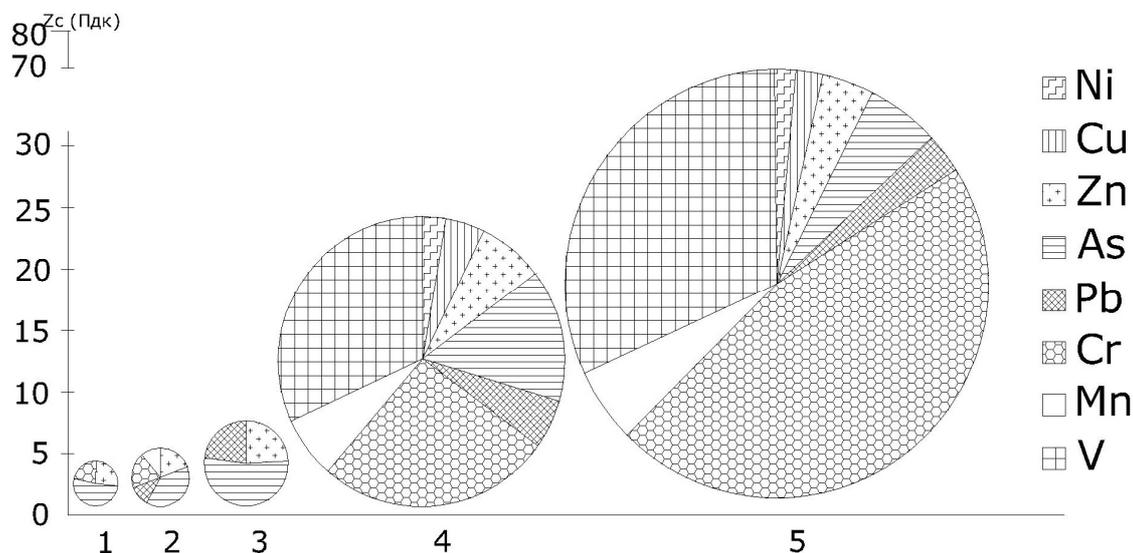


Рис. 19. Суммарное загрязнение ($Z_{с\text{ПДК}}$) тяжелыми металлами слоя 0–10 см почв г. Чусового с учетом доли отдельных ТМ в величине $Z_{с\text{ПДК}}$, 2008: 1 – Аллювиальные серогу- мусовые, $n = 6$; 2 – Агроземы, $n = 12$; 3 – Урбодерново- подзолистые, $n = 8$; 4 – Урбосерогумусовые, $n = 4$; 5 – Техно- земы, $n = 10$.

Загрязнение тяжелыми металлами поверхностного слоя урбодерново-подзолистых почв Нового города установлено только по Zn и As, содержание которых выше ПДК, соответственно, в 2 и 4 раза (табл. 19). По другим химическим элементам был выявлен локальный характер загрязнения. Так, содержание Ni превышает ПДК в почве по ул. Чайковского в 2 раза, а десятикратное превышение ПДК по Pb обнаружено в почве Сквера Молодежи вблизи дорожного полотна по ул. Отдыха.

В дерново-подзолистой почве лесопарка и в почве клумбы по ул. Космонавтов выявлено превышение ПДК по

Mn - в 5,6 раза и по Cr - в 1,5 раза. Превышение кларков тяжелых металлов в почвах микрорайона Новый город таково: Pb - 5,7, Zn - 4,0, Cu - 1,9, As - 1,8, Mn - 1,6 Ni - 1,4 (рис. 18). Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по отношению к ПДК ($Z_{\text{ПДК}}$), составил 6,3, а по отношению к фону ($Z_{\text{фон}}$) - 9,1. Это позволяет отнести почвы Нового города к допустимой категории загрязнения (рис. 19).

Таким образом, в городских почвах многоэтажной застройки повсеместно превышены значения содержания ряда тяжелых металлов над их кларками. Для хрома превышение кларка достигло 5-кратного уровня, а для меди и цинка – 2-5-кратного. В техноземе превышение кларка тяжелыми металлами в горизонте U_1 еще выше: Cr - в 10 раз, Cu - в 5 раз, Zn - в 7 раз, и Mn - в 4 раза. Превышение ПДК в техноземе, естественно, было не так существенно. Оно заметно для Cr, содержание которого, в 10 раз выше ПДК.

Почвы Старого города наиболее загрязнены тяжелыми металлами, а микрорайон Новый город, относительно чистый, но с очагами локального загрязнения. К основным элементам – загрязнителям почвенного покрова в жилых массивах микрорайона Старый город относятся: V, Cr, As, Mn и Zn, в микрорайоне Новый город Zn, As. Содержание Rb, Nb, Zr и Ga, как правило, ниже кларка.

Содержание тяжелых металлов в поверхностном слое почв 0 – 10 см садово-огородных участков в микрорайонах индивидуальной жилой застройки Чунжино, Лисьи гнезда сильно варьирует (табл. 19). Основными металлополлютантами здесь являются Cr, As и Zn, содержание которых выше значений ПДК, соответственно, в 1,8, 3,6 и 1,7 раза. Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по отношению к ПДК, составил 5, а по отношению к фону - 11. Это позволяет отнести почвы данных микрорайонов индивидуальной жилой застройки к допустимой категории загрязнения (рис. 19).

Превышение кларков тяжелых металлов в почвах этих микрорайонов таково: Zn - 3,6; Pb - 3,2; Cu - 2,2; Cr, Mn - 1,8; As - 1,4; Ni - 1,3. В почвах повышено содержание основных металлополлютантов, характерных для территории города Чусового. Выше фона в почвах этих микрорайонов содержатся Cr, Zn, Ni, Mn, Cu и Pb в 8,1; 2,9; 1,9; 1,8; 1,6 и 1,2 раза, соответственно. Таким образом, почвы микрорайонов индивидуальной жилой застройки Чунжино, Лисьи гнезда и поселка Карьер характеризуются некоторым превышением среднего содержания ряда тяжелых металлов над значениями кларка и фона. Это объясняется использованием землистых отходов золы и шлака ОАО «ЧМЗ» для окультуривания почв садово-огородных участков. Кроме того, тяжелые металлы поступают в почву аэральным путем.

Содержание тяжелых металлов в слое почв 0 – 10 см микрорайона индивидуальной жилой застройки Красный поселок, примыкающего с востока к микрорайону Старый город, относительно высокое и сильно варьирует (табл. 19). К основным элементам-загрязнителям относятся V, Cr, Mn, Zn, As и Pb. Их содержание выше ПДК в 11,3; 9,3; 2,4; 2,8; 5,0 и 1,8 раза, соответственно. Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по отношению к ПДК, составил 28, а по отношению к фону - 79. Это позволяет отнести почвы микрорайона Красный поселок к умеренно опасной категории загрязнения по $Z_{с\text{ПДК}}$ и к опасной по - $Z_{с\text{фон}}$. Превышение кларка тяжелых металлов таково: V - 18,8; Cr - 9,3; Zn - 5,5; Pb - 5,4; Cu - 4,2; Mn - 4,1; Ni - 2,2; As - 2,1. Большинство тяжелых металлов в почвах содержится в количествах превышающих кларк более чем в 2 раза.

В почвах микрорайона Красный поселок превышение фона тяжелыми металлами высокое, и в среднем составляет по Cr - в 41,3 раза, V - в 26,8 раза, Zn в - 4,5 раза, Mn - в 4,1 раза, Ni - в 3,2 раза, Cu - в 3,1 раза и Pb - в 2,0 раза. Загрязнение Красного поселка полиэлементное, среди поллютантов

основную долю занимают V и Cr. Причиной этого следует считать близость к источнику аэрального загрязнения – ОАО «ЧМЗ».

Содержание тяжелых металлов в слое почв 0 – 10 см микрорайона Закурье на острове Закурье не высоко, и в отличие от других микрорайонов варьирует не сильно (табл. 19). К основным металлополлютантам десятисантиметрового слоя почв острова относятся Zn, As и Cr. Их содержание выше ПДК в 1,4; 2,8 и 1,1 раза соответственно. Суммарный показатель загрязнения (Zс), составил всего 3 по ПДК и 8 по фону, что позволяет отнести почвы к допустимой категории загрязнения (рис. 19). В слое почв 0 – 10 см превышение кларка тяжелых металлов таково: Zn - 2,8; Cu, Pb - 2,1; Mn - 1,5; Ni, As, Cr - 1,1 (рис. 18).

Таким образом, наиболее сильно загрязнены почвы микрорайона Старый город. Их загрязнение приурочено к котловине, где действует ОАО «ЧМЗ», а сам жилой микрорайон расположен в пределах санитарно-защитной зоны, установленной для металлургических предприятий (1000 м) [190]. В меньшей степени загрязнен верхний слой почв в микрорайонах индивидуальной жилой застройки Чунжино, Лисьи гнезда, Карьер. Поверхностный слой аллювиальных почв острова Закурье подвержен аэральному и гидрогенному загрязнению.

5.1.3. Влияние природных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах

Литогенный фактор. Среднее Предуралье представляет собой природную геохимическую аномалию, где содержание хрома, меди и цинка значительно выше кларка [44]. Эта обширная региональная аномалия на значительной части Среднего Предуралья имеет сложную локальную структуру. В связи с генезисом элювия отложений пермской геологической системы, главным образом их слоистой текстурой, аномалия не имеет равномерного вертикального распределения,

а представлена отдельными, высоко обогащенными ТМ слоями материнской породы. Один из таких выразительных слоев вскрыт у подножья склона окрестностей микрорайона Красный поселок на глубине 95 – 110 см. Здесь выявлено существенное превышение кларков тяжелыми металлами: Cr - в 2,2 раза, Zn - в 4,7 раза, Cu - в 3,3 раза, Mn - в 2,7 раза.

По величине отношения «генеральное среднее / кларк» металлы в микрорайонах индивидуальной жилой застройки г. Чусового и в окрестностях Красного поселка образуют ряд Cr 5,2 > Cu 2,5 > Zn 2,2 > Ni 1,7 > Mn 1,2, что отражает наличие природной хромо-марганце-цинковой аномалии.

Литогенный фактор аналитически проявляется через связь с илом. Рассмотрим характер статистической связи ила с металлами в автоморфных почвах (разрез 1, 11 – 16) г. Чусового без учета влияния верхних загрязненных горизонтов РУ (табл. 20).

Таблица 20. Коэффициенты корреляции между содержанием ила и тяжелыми металлами в автоморфной дерново-подзолистой почве, агроземах и агродерново-подзолистых почвах г. Чусового (n = 28)

Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Mn
0,36	0,29	0,41*	0,14	0,60*	0,47

* - достоверно при P = 0,95

Достоверная связь установлена для четырех металлов: хрома, марганца, железа и цинка. Рассмотрим каждую из связей отдельно. Положительная связь железа с илом основана на высоком содержании в этих образцах силикатного железа, что доказывается данными мессбауэровской спектроскопии. Это характерно для многих почв таежно-лесной зоны. Прямая связь ила с цинком не универсальная, а проявляется только в тех случаях, где Zn входит в решетку глинистых минералов или прочно сорбируется ими. Вероятно, такая ситуация существует в данных почвах тяжелого гранулометрического состава.

Прямая связь содержания Mn с илом наблюдается в почвах весьма редко. Обычно имеет место обратная связь [35, 79], что обусловлено крупными размерами частиц оксидов марганца. Прямая связь в данных почвах обусловлена обогащенностью марганцем материнских пород тяжелого гранулометрического состава. Недостоверная связь Cu и Pb с илом объясняется конкуренцией другого сильного сорбента – гумуса, к которому у этих металлов имеется высокое сродство. Содержание хрома в тяжелых почвах обычно выше, чем в легких [107]. Кроме литогенных факторов на содержание тяжелых металлов влияют почвообразовательные процессы. Среди них важный – оглеение. Рассмотрим влияние оглеения почвы.

Оглеение. Оглеенная кислая почва в пос. Антыбары (разрез 13) отличается высокой кислотностью: в среднем pH = 3,4 против автоморфных нейтральных агроземов с pH = 6 (в микрорайонах Камасино и Чунжино). В оглеенной кислой почве понижено содержание цинка и марганца против автоморфных аналогов. Среднее содержание цинка в оглеенной почве в 1,2 раза ниже, чем в автоморфных почвах, а – марганца - ниже в 3 раза (табл. 21).

Таблица 21. Статистические показатели содержания цинка и марганца (мг/кг) в автоморфных (n = 28) и оглеенной (n = 4) в почвах садово-огородных участков г. Чусового

Почвы	M±m	σ	V, %	t-критерий
Zn				
Автоморфные	114±8	41	36	3,5*
Оглеенные	83±4	8,7	10	
Mn				
Автоморфные	1103±83	441	40	8,8*
Оглеенные	368±0	0	0	

* - достоверно при P = 0,95

Это снижение не обусловлено изменением (утяжелением) гранулометрического состава оглеенной почвы. Согласно

прямой связи ила с цинком и хромом их содержание должно быть выше, чем в автоморфных почвах. Но фактически оно ниже, дефицит металлов указывает на их выщелачивание из кислой оглеенной почвы.

В загрязненных почвах Чусового ($Z_c > 16$) установлена высокая достоверная корреляционная зависимость ($r > 0,7$) между содержанием Ni, Cu, Zn, Cr, Mn, V и магнитной восприимчивостью (табл. 22).

Таблица 22. Корреляционная матрица содержания ТМ и магнитной восприимчивости в поверхностных горизонтах загрязненных почв г. Чусового ($n = 87$)

	ОМВ	УМВ	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Mn	Fe	V**
ОМВ	1,0									
УМВ	0,8*	1,0								
Ni	0,7*	0,8*	1,0							
Cu	0,7*	0,8*	0,6*	1,0						
Zn	0,8*	0,9*	0,6*	0,8*	1,0					
Pb	0,4*	0,5*	0,3*	0,4*	0,6*	1,0				
Cr	0,8*	0,9*	0,7*	0,8*	0,8*	0,5*	1,0			
Mn	0,8*	0,9*	0,7*	0,8*	0,8*	0,5*	1,0*	1,0		
Fe	0,8*	0,9*	0,7*	0,8*	0,8*	0,5*	0,9*	0,9*	1,0	
V**	0,6*	0,7*	0,7*	0,5*	0,6*	0,5*	0,8*	0,7*	0,7*	1,0

* - достоверно при $P = 0,95$; ** - $n = 24$

Прямая связь содержания ТМ и восприимчивости почв (рис. 20) позволяет использовать каппаметрию для выявления загрязненности почв Ni, Cu, Zn, Cr и Mn, а картосхему магнитной восприимчивости - для оценки пространственного распределения ТМ на территории г. Чусового.

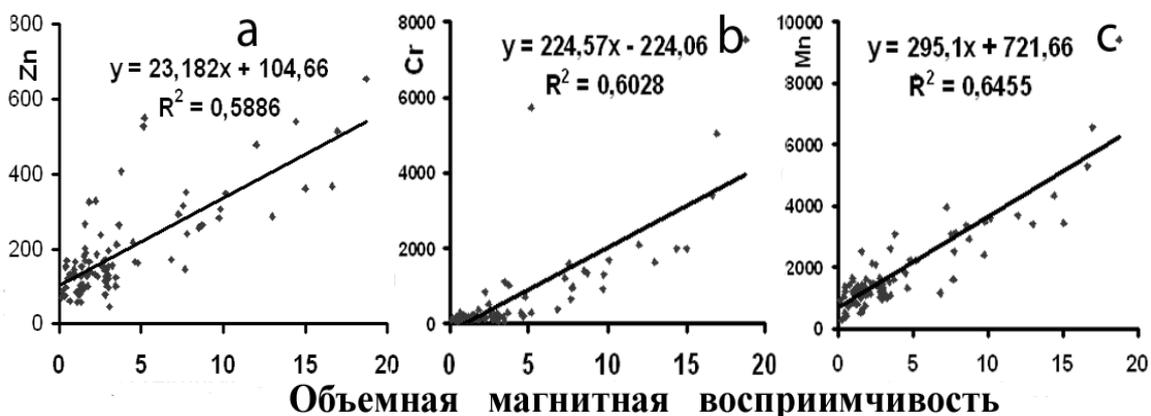


Рис. 20. Зависимость содержания Zn (а), Cr (б), Mn (в) от ОМВ

При применении уравнения линейной регрессии, по величине объемной магнитной восприимчивости, с высокой степенью достоверности можно определить количественное содержание металлополлютантов в загрязненных почвах.

5.2. Тяжелые металлы в овощах садово-огородных участков г. Чусового

Тяжелые металлы из почв садово-огородных участков могут поступать в плодоовощную продукцию. В связи с этим нами были проанализированы овощи, выращенные на агроземах и агродерново-подзолистой почве садово-огородных участков в микрорайонах Чунжино, Камасино и поселка Антыбары. Отбор растительных образцов (морковь, свекла, картофель) для анализа проведен в сентябре 2006 года. Валовое содержание тяжелых металлов в корнеплодах и картофеле определено атомно-адсорбционным методом [155] в ФГУ ГЦАС Пермский, всего проанализировано 9 объединенных растительных образцов с определением Cu, Zn, Pb и Cd.

Суммарное содержание тяжелых металлов (Σ Cu, Zn, Pb, Cd) в овощах, выращенных в 2006 году на агроземах и агродерновоподзолистой почве, различается по видам культур и составляет в моркови 0,2 – 4,5 мг/кг, свекле - 0,4 – 8,6 мг/кг и картофеле - 0,2 – 6,2 мг/кг, что ниже ПДК (табл. 23).

Таблица 23. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в овощах садово-огородных участков г. Чусового, 2006 г.

Направление, расстояние от ОАО «ЧМЗ»	Продукция	Тяжелые металлы				
		Cu	Zn	Pb	Cd	Σ (Cu+Zn+Pb+Cd)
ПДК		5	10	0,5	0,03	
Агрозем текстурно-дифференцированный (поселок Камасино)						
юго-запад, 1,4 км	свекла	3,06	4,98	0,349	-	0,35
	морковь	2,61	2,68	0,218	-	0,21
	картофель	1,52	4,25	0,191	-	0,19
Агрозем текстурно-дифференцированный (микрорайон Чунжино)						
юго-восток, 1,6 км	свекла	3,12	5,17	0,122	0,002	8,41
	морковь	0,46	2,04	0,34	-	2,84
	картофель	0,9	4,38	0,223	-	5,50
Агродерново-подзолистая глеевая (поселок Антыбары)						
запад, 2,4 км	свекла	3,03	5,14	0,385	0,048	8,60
	морковь	2,68	1,78	0,072	-	4,53
	картофель	1,51	4,56	0,08	0,014	6,16

Примечание: - означает ниже предела обнаружения прибора

При этом максимальные концентрации тяжелых металлов выявлены в овощах, отобранных с агродерново-подзолистой почвы, а самое низкое содержание тяжелых металлов зафиксировано в овощах, выращенных на агроземе поселка Камасино.

Загрязнение растительной продукции тяжелыми металлами установлено только в поселке Антыбары, где содержание Cd в свекле превышает ПДК в 1,6 раза, что должно быть связано с низкими защитными свойствами этой культуры от проникновения тяжелых металлов и сильноокислой реакцией среды агродерново-подзолистой почвы, способствующей переводу Cd в подвижную форму. В остальном овощи и картофель, выращенные на садово-огородных участках обследованной территории, не загрязнены тяжелыми металлами. Нами не установлена закономерность изменения содержания тяжелых металлов в растениях относительно удаленности от источника выбросов. Очевидно, что тяжелые металлы в обследованных нами почвах находятся, в основном, в малоподвижной форме и не загрязняют растениеводческую продукцию выше ПДК. Тем не менее требуется постоянный качественный контроль за содержанием ТМ в плодоовощной продукции, выращенной на приусадебных участках микрорайонов малоэтажной застройки города.

5.3. Редкоземельные и щелочноземельные металлы в почвах

В настоящее время хорошо изучено в загрязненных почвах содержание таких тяжелых металлов, как Zn, Cu, Ni, Pb и Cr [81, 110, 160, 207]. Но, в то же время, о характере загрязнения почв другими тяжелыми металлами, такими как щелочноземельные и редкоземельные, известно мало. Недостаток информации связан с трудностью их диагностики. На территориях промышленно развитых городов щелочноземельные и редкоземельные металлы имеют техногенное происхождение [97, 230].

В последние годы прогресс в изучении редкоземельных металлов обеспечивался применением дорогого метода масс-спектрографии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS). Установлено, что содержание в почвах многих из них высоко, а концентрации лантана (La), церия (Ce) и неодима (Nd) сопоставимы с содержанием хорошо изученных тяжелых металлов, таких как медь, хром или свинец [171]. С применением дорогого нейтронно-активационного анализа на ядерном реакторе с использованием гамма-спектрометра в почвах определяют различные рассеянные элементы: Hf, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Th, U даже при низкой концентрации [163].

Иттрий вместе с лантаном и церием относят к группе редкоземельных элементов благодаря сходному строению электронной оболочки. Эти три редкоземельных элемента в почвах изучены очень слабо. В силу различия их свойств показательными являются отношения Ce:La, La:Y, Ce:Y [108].

В работе А. Кабаты-Пендиас [113], приводятся кларки редкоземельных металлов (La = 34 мг/кг, Ce = 45 мг/кг). В осадочных породах кларки La и других лантаноидов зависят от гранулометрического состава. Выявлено, что они накапливаются в илистой фракции < 2 мкм. В результате их содержание выше в аргиллитах и глинах - 56 мг/кг, ниже - в песчаниках и карбонатных породах: 19 и 8 мг/кг [106].

Надежных значений почвенных кларков иттрия нет, так как «...почвы редко анализируются на Y...» [106]. По Н. Bowen [241], кларк иттрия для почв мира составляет 40 мг/кг, хотя для тех стран, где иттрий достаточно изучен, его содержание оказалось значительно ниже. Для почв США кларк иттрия 25 мг/кг, для 44 образцов почв Китая - в среднем 22 мг/кг, для 30 образцов почв Швеции - от 5 до 18 мг/кг [108, 171]. Тем не менее, будем пользоваться кларком Н. Bowen [241] - 40 мг/кг. Для иттрия характерна приуроченность к глинистой фракции, его содержание выше в аргиллитах и

глинах (33 мг/кг), ниже - в песчаных и карбонатных породах: 18 и 8 мг/кг [108].

В почвах различие в содержании редкоземельных металлов проявляется за счет образования органических лигандов с металлами и участия окислительно-восстановительных процессов. Церий образует более прочные органические комплексы, чем лантан, а тот прочнее, чем иттрий [108, 145]. В верховых торфах Западной Сибири, где высока роль органического вещества, отношение Ce:La возрастает в среднем до 4,3 за счет образования прочных Ce-органических комплексов [112]. Приведем другой пример положительной цериевой аномалии. В Южной Индии в толще сапролитов за счет развития окислительно-восстановительных процессов образуются железистые модули. Если в сапролитах среднее отношение Ce:La = 2,7, то в железистых модулях оно возрастает в среднем до 6,0 [276]. Значения модулей Ce:La, Ce:Y, La:Y могут отражать масштабы участия окислительно-восстановительных процессов и органического вещества в развитии почв.

Валовое содержание La, Ce и Ba определяли в ГНУ Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН рентген-радиометрическим методом, валовое содержание Sr и Y - рентренфлуоресцентным методом на приборе Tefa 6111 [270].

В почвах города Чусового было установлено, что средневзвешенное содержание стронция в разрезах варьирует от 136 до 296 мг/кг, что существенно ниже кларкового – 300 мг/кг (табл. 24). В аллювиальных-серогумусовых почвах (разрезы 2, 3, 5) на острове Закурье содержание стронция ниже, чем в урбосерогумусовой и дерново-подзолистой почве, что определяется литогенным фактором. В техноземе средневзвешенное содержание Sr не превышает уровня урбосерогумусовой почвы, что говорит о низкой его техногенности.

Таблица 24. Профильное распределение редкоземельных и щелочноземельных металлов (мг/кг) в почвах г. Чусового, 2008 г.

Горизонт и глубина, см	Sr	Ba	Ba/Sr	Y	La	Ce	La/Y	Ce/La	Ce/Y
Разрез 1. Дерново-подзолистая почва, м-н Новый город, ул. 50 лет ВЛКСМ, лесопарк									
AY, 3 – 12	146±1,6	393±13,3	2,7	18±0,7	15±1,5	23±1,2	0,8	1,5	1,3
EL, 15 – 25	156±3,9	370±6,6	2,4	18±0,6	21±1,3	30±0,5	1,2	1,4	1,7
BEL, 38 – 48	147	322	2,2	22	21	36	1,0	1,7	1,6
BT ₁ , 67 – 77	140	300	2,1	36	38	53	1,0	1,4	1,5
BT ₂ , 90 – 100	< п.о.	290	-	< п.о.	30	40	-	1,3	-
D, 122 - 132	269	254	0,9	23	20	32	0,9	1,6	1,4
средневзвешенное	189,4	303,8	1,8	24,3	24,3	36,6	1,0	1,5	1,5
Разрез 4. Урбосерогумусовая, м-н Старый город, ул. Школьная, сквер									
U, 3 – 30	193±9,2	352±12,6	1,8	25±1,4	21±0,4	29±1,3	0,8	1,4	1,2
Ct ₁ , 37 – 47	192±21,6	310±2,3	1,6	26±0,4	23±1,7	32±1,6	0,9	1,4	1,2
Ct ₂ , 60 – 70	259	248	0,9	26	23	27	0,9	1,2	1,0
C, 84 – 94	296	256	0,9	24	17	26	0,7	1,5	1,1
средневзвешенное	234,2	294,9	1,3	25,2	20,8	28,5	0,8	1,4	1,1
Разрез 6. Технозем, м-н Старый город, ул. Ленина, сквер									
U ₁ , 0-18	159±12	275±28,9	1,7	32±3,4	26±1,8	45±3,1	0,8	1,7	1,4
U ₂ , 44-54	235	330	1,4	67	42	78	0,6	1,9	1,2
U ₃ , 82-92	292	1024	3,5	117	38	84	0,3	2,2	0,7
D, 94-104	156	492	3,1	33	30	55	0,9	1,8	1,7
средневзвешенное	216,1	435,0	2,0	61,6	36,9	70	0,6	1,9	1,3

продолжение таблицы 24

Горизонт и глубина, см	Sr	Ba	Ba/Sr	Y	La	Ce	La/Y	Ce/La	Ce/Y
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – высокая пойма, луг									
AY, 5 – 28	155±5	361±8,1	2,3	31±0,3	33±1,3	61±2,2	1,1	1,8	2,0
C ₁ [~] , 34 – 44	148±4,1	381±14,1	2,6	36±1,6	36±1,3	66±3,2	1,0	1,8	1,8
C ₂ [~] , 70 - 80	142	372	2,6	36	33	65	0,9	2,0	1,8
средневзвешенное	147,0	370,9	2,5	34,6	33,7	64,1	1,0	1,9	1,9
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье – низкая пойма, сенокос									
AY, 3 – 24	130±3,1	349±6,1	2,7	28±1,2	33±1,9	61±1,5	1,2	1,8	2,2
C ₂ [~] , 27 – 37	129±2	440±57	3,4	30±1,7	32±2	62±2,2	1,1	1,9	2,1
C ₄ [~] , 46 – 56	172	337	2,0	28	34	62	1,2	1,8	1,8
C ₅ [~] , 60 – 70	< п.о.	181	-	< п.о.	24	44	-	1,8	-
C ₆ [~] , 74 – 84	< п.о.	320	-	< п.о.	32	58	-	1,8	-
C ₇ [~] , 88 - 98	117	307	1,7	30	31	57	1,8	1,8	1,9
средневзвешенное	134,5	329,1	2,6	29,0	31,0	57,5	1,3	1,8	2,0
Разрез 5. Аллювиальная серогумусовая, о. Закурье, ул. Закурье – высокая пойма, газон									
AY, 0 – 12	146±2,6	372±12,4	2,5	29±0,3	28±1,2	52±0,9	1,0	1,9	1,8
AY, 15 – 25	149±2	395±11,1	2,6	34±1,1	36±1,9	64±2,1	1,1	1,8	1,9
C ₁ [~] , 29 – 37	150±3,3	404±10,9	2,7	36	37±2,2	69±2,7	1,0	1,9	1,9
C ₂ [~] , 42 – 52	< п.о.	439	-	< п.о.	43	77	-	1,8	-
C ₃ [~] , 66 – 76	150	446	3,0	38	40	75	1,0	1,9	2,0
C ₄ [~] , 108 – 118	147	456	3,1	37	42	75	1,1	1,8	2,0
средневзвешенное	149,4	442,1	3,0	37,4	39,8	73,9	1,0	1,9	2,0
Кларк	300	500	1,7		34	49	-	1,4	-

Примечания: среднее ± стандартная ошибка для n = 4; < п.о. – значение ниже предела обнаружения прибора; - нет данных

Средневзвешенное содержание бария в разрезах варьирует от 295 мг/кг - в урбосерогумусовой почве до 442 мг/кг - в аллювиальной серогумусовой почве на улице Закурье (табл. 24). Обращает на себя внимание неоднородность аллювиальных серогумусовых почв, где среднее содержание Ba колеблется от 329 до 442 мг/кг, что связано с цикличностью почвообразования на острове. Отношение Ba:Sr варьирует в очень широком интервале: от 0,9 - в карбонатных породах до 2,7 – 3,4 - в профиле аллювиальных-серогумусовых почв. В целом, отношение Ba:Sr в урбосерогумусовой и дерново-подзолистой почвах ниже (1,3 – 1,8), чем в аллювиальных серогумусовых почвах (2,5 – 3,0), несмотря на некоторый вклад техногенного бария. Вероятно, это связано с присутствием карбонатов в дерново-подзолистой, урбосерогумусовой почвах, которые обогащены Sr и обеднены Ba.

Средневзвешенное содержание Y в пяти разрезах (кроме технозема) 24 – 37 мг/кг, что ниже кларкового – 40 мг/кг (табл. 24). При этом в аллювиально-серогумусовых почвах содержание Y в среднем заметно выше (29 – 37 мг/кг), чем в дерново-подзолистой и урбосерогумусовой почвах (24 – 25 мг/кг). Это обогащение иттрием аллювиальных серогумусовых почв, вероятно, обязано аллювиальному процессу. Выше всего содержание Y в техноземе, где его средневзвешенное содержание (62 мг/кг) значительно превышает кларк. Это говорит о высокой техногенности иттрия.

Средневзвешенные содержания La и Ce в аллювиальных серогумусовых почвах на острове Закурье выше (La 31 – 40 мг/кг, Ce 58 – 74 мг/кг) чем в урбосерогумусовой и дерново-подзолистой почвах на надпойменных трассах реки Чусовой (La 21 – 24 мг/кг и Ce 29 – 37 мг/кг). Это определяется литогенным фактором - обогащенностью La и Ce аллювия. В техноземе среднее содержание Ce (70 мг/кг) существенно превышает кларк, а содержание La несущественно выше кларка.

В дерново-подзолистой почве (разрез 1) проявилось очень интересное влияние подзолистого процесса. Оказалось, что редкоземельные металлы в значительной степени вымы-

ваются из элювиального горизонта EL и накапливаются в иллювиальном горизонте BT₁. Оценим масштабы переноса химических элементов с помощью показателя Килл = Силл : Сэл, где Силл и Сэл – содержание элемента в иллювиальном и элювиальном горизонтах. Для лантана и церия Килл = 1,8. Этот вывод подтверждается другими исследованиями, в частности, выполненными в Швеции. В подзолистых почвах элювиальные горизонты сильно обеднены редкоземельными металлами, тогда как иллювиальные ими обогащены [255, 277].

Это различие особенно усиливается при определении подвижных (извлекаемых 0,2 М HCl) форм содержания редкоземельных металлов [277]. Обеднение элювиального горизонта связано со многими причинами: разрушением глинистых минералов и гидроксидов Fe и Mn как фаз-носителей этих металлов, а также растворением фосфатов редкоземельных металлов [242, 246, 263, 277]. Таким образом, классическое определение оподзоливания, как процесса внутрипрофильного перемещения полуторных оксидов, можно дополнить участием редкоземельных металлов.

Рассмотрим модули редкоземельных металлов. Модуль Ce:La в почвах варьирует от 1,2 до 2,2. В урбосерогумусовой и дерново-подзолистой почвах средневзвешенное отношение Ce:La = 1,4 и 1,5, соответственно, что отвечает кларковому. В аллювиальных серогумусовых почвах среднее отношение Ce:La = 1,9, что несколько выше кларкового, вероятно, за счет того, что аллювий сильнее обогащен церием, чем лантаном. Аллювий также сильнее обогащен церием, чем иттрием: модуль Ce:Y в дерново-подзолистых почвах 1,9 – 2,0, тогда как в аллювиальных серогумусовых почвах всего 1,1 – 1,5. Модули La:Y и Ce:Y достигают минимума в техноземе: 0,5 и 1,0, что говорит об относительном накоплении иттрия.

Обратимся к подсчету доли техногенности сверхтяжелых металлов в почвах города Чусового. Расчет техногенно-

сти сверхтяжелых металлов проведен по методике, основанной на использовании коэффициента радиальной дифференциации металла R относительно подстилающей породы [172]:

$$R = C_A:C_C, \quad (6)$$

где C_A и C_C – содержание металла в горизонтах АУ и С. Затем долю техногенности Tg металла (% от валового) рассчитали по выражению (237):

$$Tg = 100 \times (R - 1) : R \quad (7).$$

В аллювиальных серогумусовых почвах максимум содержания этих элементов приходится не на поверхностный горизонт, а на подповерхностный, возможно, за счет миграции на глубину, что учитывалось при подсчете показателя Tg (табл. 25). Техногенность металлов аллювиальных серогумусовых почв низкая и недостоверная. В дерново-подзолистых почвах техногенность Ва составляет 35 – 56%, в урбосерогумусовой почве техногенность La и Ce составляет 29 и 21%. В техноземе все пять металлов проявили свою техногенность, хотя в разной степени. Среди тяжелых щелочноземельных выделяется высокой техногенностью барий, а среди редкоземельных металлов – иттрий.

Таблица 25. Доля техногенности Tg редкоземельных и щелочноземельных металлов (% от валового) в почвах города Чусового, 2009 г.

Разрез, почва	Sr	Ba	Y	La	Ce
2. Аллювиальная серогумусовая	6	4	0	10	2
3. Аллювиальная серогумусовая	0	17	7	0	1
5. Аллювиальная серогумусовая	8	0	0	0	0
1. Дерново-подзолистая	0	56*	13	10	6
4. Урбосерогумусовая	0	35*	14	29*	21*
6. Технозем	48*	74*	74*	31*	47*

* - достоверная техногенность с $Tg > 20\%$

Таким образом, содержание тяжелых металлов в почвах города Чусового и его окрестностях определяется как природными, так и техногенными факторами. Из природных факторов важнейшими являются обогащение материнских пород хромом, свинцом, цинком и медью, что влияет на химический состав почв. Среди других природных факторов выделяется оглеение. Процесс оглеения и подкисления дерново-подзолистой почвы сопровождается существенным выщелачиванием Zn и Mn. Поемность приводит к снижению содержания магнетита в верхних горизонтах аллювиальных серогумусовых почв и способствует накоплению там хрома.

Техногенное загрязнение почв максимально в техноземе, где превышение кларка достигает 4-8-кратного уровня для Cu, Zn, Pb, Cr. Техногенность оказалась высокой для большинства металлов: 24-89%. Ряд техногенности металлов в почвах города следующий: $Fe_3O_4 \gg Cr > Zn > Mn > Pb > Cu$. Загрязнение почв в микрорайонах многоэтажной жилой застройки происходит в основном из-за использования в строительстве и благоустройстве золы и шлака металлургического производства. Загрязнение почв тяжелыми металлами локализуется котловиной, где действует металлургический завод, и значительно снижается уже на расстоянии 2-3 км в микрорайонах, расположенных на 50-150 м выше завода.

Содержание редкоземельных металлов в почвах на территории города Чусового зависит от генезиса почв и условий техногенеза. В дерново-подзолистой почве отмечено элювиально-иллювиальное распределение Ce, La и Y. Оно более выразительно, чем распределение алюминия и сопоставимо с распределением железа. Всеми металлами (особенно Y) загрязнен технозем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами в районе действия металлургических предприятий остается изученной не в полной мере по нескольким причинам: 1) загрязнению подвергаются почвы различного генезиса, и при этом каждый тип почвы будет обладать своими особенностями аккумуляции и трансформации тяжелых металлов; 2) состав металлополлютантов в загрязненных почвах зависит от технологического цикла металлургического производства, сырья и ассортимента готовой продукции, а также и других факторов, и практически на каждой территории металлургического производства будет иметь свою специфику; 3) для оперативного контроля за загрязнением почв тяжелыми металлами требуется адаптация существующих методов диагностики с учетом региональных особенностей почвообразования; 4) техногенные геохимические аномалии могут накладываться на природные. Это затрудняет объективную оценку загрязнения почв по законодательно установленным нормативам; 5) значительная часть исследований загрязнения тяжелыми металлами охватывает только поверхностные горизонты почвы и не учитывает внутрипрофильное распределение металлополлютантов.

Почвенно-геохимические аномалии на территории города Чусового формируются при участии нескольких факторов. Влияние природного фактора на содержание ТМ в почвах выражено в обогащенности материнских пород Cr, Pb, Zn, Ni и Cu. Вейстогенный фактор загрязнения почв проявляется на городской территории, расположенной вблизи от завода, – в микрорайоне Старый город. Гидрогенное загрязнение происходит в почвах низкой поймы реки Чусовой, аэрогенный фактор действует на всей территории города.

Концентрации тяжелых металлов 1 – 3 классов опасности в почвах г. Чусового превышают нормативные величины

– ПДК, кларк и фон, что позволяет отнести почвы этой территории к природно-техногенной геохимической аномалии. Наибольший вклад в загрязнение почв вносят V, Cr, Mn и Zn. Техногенность большинства металлов высокая и составляет 24 – 28%. Максимум техногенного загрязнения ТМ выявлен в техноземах.

Железосодержащими фазами почв г. Чусового являются магнетит, гематит, тонкодисперсные гидроксиды железа, хлорит и эпидот. Внутрипрофильное и пространственное распределение магнетита отражает его техногенность и роль как фазы носителя тяжелых металлов. По величине магнитной восприимчивости на территории города выделяются зоны разной степени накопления техногенного магнетита: низкая, средняя, повышенная, высокая и очень высокая. Максимальное накопление высокомагнитных соединений наблюдается в почвах жилых микрорайонов, примыкающих к ОАО «ЧМЗ». Магнитная восприимчивость верхних горизонтов почв в десятки раз выше значений магнитной восприимчивости подповерхностных горизонтов, почвообразующих пород и почв фоновых территорий. При удалении от ОАО «ЧМЗ» происходит снижение магнитной восприимчивости почв до уровня, близкого к фону. Достоверная корреляционная связь между магнитной восприимчивостью и содержанием в почвах Ni, Cu, Zn, Cr, Mn и V позволяет применить величину магнитной восприимчивости почв как индикатор из загрязнения металлополлютантами.

В городах Пермского края, в отличие от таких промышленных центров как Москва, Санкт-Петербург, Ярославль, Самара, Ростов-на-Дону, Екатеринбург, мониторинг за загрязнением почв не выполняется. Имеются лишь отдельные инициативные работы [43, 94, 135, 228]. Выполненные нами исследования по почвам г. Чусового позволяют рекомендовать использовать в системе мониторинга окружающей среды г. Чусового картосхему магнитной восприимчивости почв

с целью контроля загрязнения их тяжелыми металлами. С целью предотвращения вейстогенного фактора загрязнения почв города тяжелыми металлами необходимо контролировать химический состав грунтовых смесей, используемых на садово-огородных участках и в городском хозяйстве. Целесообразно для устранения вреда здоровью населения города Чусового тяжелыми металлами, рассмотреть вопрос об экскавации верхнего слоя почвы на глубину 0 – 20 см и замене его на незагрязненный грунт на всей территории микрорайона Старый город и в местах локального загрязнения в других микрорайонах города.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Пермской области: справ. / Сост. Л.П. Лявшен, О.Б. Федотова, Г.С. Халевицкая и др. – Л.: Гидрометеозад, 1979, - 156 с.
2. Айкешев, Б.М. Микрофлора почв в зоне влияния выбросов предприятий цветной металлургии (на примере Жезгаганского горно-металлургического комбината): автореф. дис... канд. биол. наук / Б.М. Айкешев. - Алматы, 1994. – 21с.
3. Акентьева, Л.И. Влияние промышленных выбросов металлургического комплекса на растения и некоторые свойства почвы / Л.И. Акентьева, В.А. Беляева // Почвоведение. – 1992. - №9. – С. 164 – 169
4. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. - Л.: Наука, 1980. - 228 с.
5. Алексеев, А.О. Оксидогенез железа в почвах степной зоны: автореф. дис.... д-ра. биол. наук / А.О. Алексеев. – Москва, 2010. – 48 с.
6. Алексеев, А.О. О возможности использования магнитной восприимчивости для изучения эволюции почв / А.О. Алексеев, И.С. Ковалевский, Е.Г. Моргун // Эволюция и возраст почв СССР. – Пушкино, 1986. – С. 101 – 109
7. Алексеев, В.Б. Гигиеническая оценка ведущих факторов риска репродуктивной патологии женщин и основные направления профилактических мероприятий в условиях промышленного региона: автореф. дис.... д-ра мед. наук / В.Б. Алексеев. - Пермь, 2009. – 49 с.
8. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
9. Аляев, А.А. Экологическая ситуация и состояние здоровья населения в городе Магнитогорске / А.А. Аляев, Л.Ф. Ворва // Экологические проблемы промышленных зон

Урала: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (Россия, г. Магнитогорск, май; 1997). – Магнитогорск, 1999. - С. 29 – 34

10. Андреюк, Е.И. Иерархическая система индикации почв, загрязненных тяжелыми металлами / Е.И. Андреюк, Г.А. Иутинская, Е.В. Валагурова, В.Е. Козырицкая, Н.И. Иванова, А.Д. Останенко // Почвоведение. - 1997. - №12. - С. 1491 – 1496

11. Антипанова, Н.А. Комплексная оценка антропогенного загрязнения объектов городской среды крупного промышленного центра черной металлургии / Н.А. Антипанова // Экология промышленного производства. – 2007. - №1. – С. 25 – 27

12. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. М.: Изд. МГУ, 1965. - 487 с.

13. Бабанин, В.Ф. Магнетизм почв / В.Ф. Бабанин, В.И. Трухин, Л.О. Карпачевский, А.В. Иванов, В.В. Морозов. - М.: Ярославль, 1995. - 222 с.

14. Байкин, Ю.Л. Химический состав почвенного раствора светло-серой лесной почвы, загрязненной тяжелыми металлами / Ю.Л. Байкин, А.С. Гусев // Тез. Докл. III съезда Докучаевского о-ва почвоведов. – М., 2000. - С. 232 – 233

15. Баталин, Б.С. Вред и польза шлаковых отвалов / Б.С. Баталин // Природа. – 2003. - №10. - С. 27-32

16. Батовская, Е.К. Тяжелые металлы в почвах Прикаспийской низменности / Е.К. Батовская, Н.А. Черных, В.П. Зволинский // Актуальные проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности. Всероссийская научно-практическая конференция. - 2002. Вып. 3. Ч. 2. - С. 210-214

17. Безносков, А.И. К оценке содержания хрома в биогеоценозе Удмуртии / А.И. Безносков, А.А. Горчев // Устойчивому развитию АПК научное обеспечение. Ижев. гос. с.-х. акад. – Ижевск, 2004. - Т.1. – С. 29 – 32

18. Белозерский, Г.Н. Применение мессбауэрской спектроскопии к изучению форм железа в лесных почвах / Г.Н. Белозерский, М.И. Казаков, Э.И. Гагарина, А.А. Хантулев // Почвоведение. – 1978. - №9. – С. 35 – 45

19. Бобовникова, Ц.И. Система наблюдения и контроля за уровнем загрязнения почв / Ц.И. Бобовникова, С.Г. Малахов, Э.П. Махонько // Труды II Всесоюзного совещания по исследованию миграции загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. - Л., 1980. - С. 5 – 19

20. Бокова, Т.И. Эколого-технологические аспекты поведения тяжелых металлов в системе почва – растение – животное - продукт – продукт питания человека / Т.И. Бокова. - Новосибирск: ГНУ СибНИПТИП, 2004. – 203 с.

21. Большаков, В.А. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах / В.А. Большаков // Почвоведение. - 2002. - №7. - С. 844 – 849

22. Большаков, В.А. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация / В.А. Большаков, Н.М. Краснова, Т.И. Борисочкина, С.Е. Сорокин; В.Г. Граковский. - М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1993. – 91 с.

23. Брызгалов, С.В. Снижение негативного воздействия доменных шлаков при их утилизации на объекты гидросферы: автореф. дис.... канд. техн. наук / С.В. Брызгалов. - Пермь, 2009. - 17 с.

24. Вадюнина, А.Ф. Магнитная восприимчивость некоторых почв СССР / А.Ф. Вадюнина, В.Ф. Бабанин // Почвоведение. – 1972. - № 10. - С. 55 – 66

25. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

26. Важенин, И.Г. Измерение магнитной восприимчивости почвенного покрова техногенными выбросами / И.Г. Важенин, Ю.Н. Водяницкий, В.И. Кулешов, Н.М. Фалева,

С.Е. Сорокин // Бюл. Почвенного ин-та им. Докучаева. – М., 1988. - Т.42. – С. 38 – 42

27. Важенина, Е.А. Неблагоприятное влияние пылегазовых выбросов металлургических предприятий / Е.А. Важенина, Н.М. Фатеева // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. - №2. – С. 54 – 56

28. Васильев, А.А. Гидрологический режим, свойства и диагностика дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв на покровных отложениях Предуралья: автореф. дис.... канд. с-х наук / А.А. Васильев. – М., 1994. – 20 с.

29. Верихов, Б.В. Гигиеническая оценка химического техногенного воздействия на состояние костно-мышечной системы у детей в промышленных городах Пермской области: автореф. дис.... канд. мед. наук / Б.В. Верихов. – Пермь, 2007. – 28 с.

30. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 237 с.

31. Виноградов, А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А.П. Виноградов // Геохимия. – 1962. - №7. – С. 555 – 571

32. Водяницкий, Ю.Н. Оксиды железа и их роль в плодородии почв / Ю.Н. Водяницкий - М.: Наука, 1989. - 160 с.

33. Водяницкий, Ю.Н. Образование оксидов железа в почве / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1992. - 275 с.

34. Водяницкий, Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2003. - 236 с.

35. Водяницкий, Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах / Ю.Н. Водяницкий. - М.: Почв. ин-т им. Докучаева, 2005. – 109 с.

36. Водяницкий, Ю.Н. Методы последовательной экстракции тяжелых металлов из почв – новые подходы и минералогический контроль (Аналитический обзор) / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2006. - № 10. - С. 1190 – 1199
37. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. - 164 с.
38. Водяницкий, Ю.Н. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах / Ю.Н. Водяницкий, В.В. Добровольский. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1998. – 216 с.
39. Водяницкий, Ю.Н. Минералы железа в почвах на красноцветных отложениях Предуралья / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, В.Ю. Гилев // Почвоведение. – 2007. - №4. - С. 474 – 486
40. Водяницкий, Ю.Н. Загрязнение тяжелыми металлами и металлоидами почв г. Перми / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, Е.С. Лобанова // Агрехимия. – 2009. - № 4. - С. 60 – 68
41. Вологжанина, Т.В. Почвенно-географическое районирование и структура почвенного покрова Пермской области / Т.В. Вологжанина, Н.А. Москвитин, В.Ф.Бутенко // Научные основы повышение плодородия почв. – Пермь, 1982. – С. 3 – 8
42. Воробейчик, Е.Л. К методике изменения мощности лесной подстилки для целей диагностики техногенно нарушенных экосистем / Е.Л. Воробейчик. - Экология. – 1997. - №4. - С. 265 – 269
43. Ворончихина, Е.А. Миграционная активность тяжелых металлов в урбанизированных экосистемах / Е.А. Ворончихина, А.Ю. Запоров // Перспективы развития естественных наук на Западном Урале: Труды международной научной конференции. Перм. ун-т. – Пермь, 1996. – Т.II Экология. – С. 55 – 57

44. Ворончихина, Е.А. Основы ландшафтной хемотропологии / Е.А. Ворончихина, Ларионова Е.А. – Пермь: ПГУ, 2002. – 146 с.
45. Вострокнутов, Г.А. Временное методическое руководство по проведению геохимических исследований при геоэкологических работах / Г.А. Вострокнутов. - Екатеринбург: Уралгеология, 1991. – 137 с.
46. Гармаш, Г.А. Поступление элементов в почву с выбросами предприятий черной металлургии / Г.А. Гармаш // Химия в сельском хозяйстве. – 1983. - №10. - С. 45 – 48
47. Гармаш, Н.Ю, Основные критерии оценки загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.Ю. Гармаш, Г.А. Графская, Г.А. Гармаш // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М., 2002. – С. 56 – 57
48. Геологическая карта Урала масштаба 1:500000. – Свердловск, 1985. – 103 с.
49. Геология СССР. Т. XII: Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. – Ч. 1 и 2. – М.: Недра, 1969. - 564 с.
50. Герасимов, А.В. Загрязнение агроландшафта выбросами комбината черной металлургии / А.В. Герасимов // Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 1992 году: Ежегодник. – Обнинск, 1993. – С. 204 – 215
51. Герасимова, М.И. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация) / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова; Н.В. Можарова; Т.В. Прокофьева. - М.: Ойкумена, 2003. - 267 с.
52. Гилев, В.Ю. Оксидогенез и редуктогенез почв на элювии и делювии пермских глин Среднего Предуралья: автореф. дис.... канд. с.-х. наук / В.Ю. Гилев. – Пермь, 2007. – 22 с.

53. Гладышева, М.А. Магнитная восприимчивость урбанизированных почв: на примере г. Москвы: автореф. дис.... канд. биол. наук / М.А. Гладышева. - М., 2007. - 26 с.

54. Глазовская, М.А. Почвенно-химическое районирование Нечерноземной зоны для целей охраны почв от загрязнения / М.А. Глазовская // Вопросы географии. – 1978. - № 108. – С. 127 – 138

55. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.

56. Глазовская, М.А. Критерии классификации почв по опасности загрязнения свинцом / М.А. Глазовская // Почвоведение. - 1994. - №4. - С. 110 – 120

57. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / М.А. Глазовская. - М.: Изд-во. Моск. ун-та, 1997. - 102 с.

58. Головина, Л.П. Уровни загрязнения почв тяжелыми металлами в зоне выбросов в атмосферу металлургического комбината / Л.П. Головина, М.Н. Лысенко // Бюл. Почв. ин-та. им. Докучаева. – М., 1989. - Т.49. – С. 16 – 19

59. Гончарук, В.В. Физико-химические аспекты проблемы загрязнения почв и гидросферы тяжелыми металлами / В.В. Гончарук, Н.М. Соболева, А.Л. Носонович // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. - №6. – С. 795 – 809

60. ГОСТ 174102-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. - Введ. 1985. – 01.01. – М.: Изд-во стандартов. 1985. – 8 с.

61. ГОСТ 26207-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Введ. 1993. – 01.07. – М.: Изд-во стандартов. 1991. – 7 с.

62. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИ-

НАО. – Введ. 1993. – 01.07. – М.: Изд-во стандартов. 1991. – 7 с.

63. ГОСТ 27821-85 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. – Введ. 1990 – 01.01 – М.: Изд-во стандартов. 1985. – 7 с.

64. Государственный доклад «Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 1999 г». Пермь: Управление по экологии администрации г. Перми, 1999. – 95 с.

65. Грибовский, Ю.Г. Содержание микроэлементов в объектах окружающей среды в зоне выбросов Магнитогорского металлургического комбината / Ю.Г. Грибовский // Актуал. пробл. вет. медицины, животноводства, обществознания и подг. кадров на Южном Урале. – Челябинск, 1997. – С. 32 – 34

66. Григорьева, Т.И. Гигиеническая оценка загрязнения почвы хромом / Т.И. Григорьева, А.Ф. Перцовская, Н.И. Тонкопий, В.М. Перельгин, Бейбетхан Дахабайн, Н.Л. Великанов, Г.Е. Шестопалова, О.Э. Боброва // Бюл. Почв. ин-та им. Докучаева. – М., 1989. - Т. 49. – С. 16 – 19

67. Груздев, В.С. Комплексная оценка техногенного воздействия предприятий черной металлургии на окружающую природную среду Европейской России: автореф. дисс.... д-ра. геогр. наук / В.С. Груздев. - М., 2010. – 41 с.

68. Груздева, Л.И. Влияние солей тяжелых металлов на сообщества почвообитающих нематод / Л.И. Груздева // Почвоведение. – 2003. - №5. - С. 596 – 606

69. Гуман, О.М. Геоэкологические условия района размещения шлакоотвала и отстойника-шлакоаккумулятора Серовского металлургического завода / О.М. Гуман, И.А. Долина, А.Б. Макаров // Известия Уральской государственной горно-геологической академии. Сер. Геология и геофизика. – 2002. - Вып. 15. – С. 263 – 272

70. Гуман, О.М. Особенности локального экологического мониторинга окружающей среды объектов горнопромышленного производства / О.М. Гуман, А.Б. Макаров, А.В. Захаров // Горный журнал (Изв. высш. учебных заведений). – 2007. - №2. – С. 56 – 59

71. Гурьев, В.С. Очистка технологических и неорганизованных выбросов в атмосферу с учетом уловленных продуктов / В.С. Гурьев, А.И. Ровенский // Бюл. НТИ Черная металлургия. – 1986. - №9. – С. 13 – 24

72. Гусев, А.С. Биологическая и ферментативная активность почв, подвергнутых техногенному загрязнению / А.С. Гусев // Тезисы докладов Докучаевских молодежных чтений – 99 «Почвы, экология, общество» СПбГУ. – Санкт Петербург, 1999. – С. 105 – 106

73. Гусев, А.С. Влияние техногенного загрязнения на свойства почв промышленных районов Свердловской области: автореф. дис.... канд. биол. наук / А.С. Гусев. – Тюмень, 2000. – 18 с.

74. Гусев, В.С. Действие тяжелых металлов на микробную систему почв / В.С. Гусев, С.В. Левин // Микроорганизмы, как компонент биогеоценоза. - Алма-Ата, 1982. - С. 91 – 92

75. Гутиева, Н.М. Влияние загрязненности почвы техногенными выбросами на урожай и химический состав ячменя / Н.М. Гутиева // Химия в сельском хозяйстве. – 1982. - №3. – С. 26 – 28

76. Даукаев, Р.А. Эколого-гигиеническая оценка влияния предприятий черной металлургии на окружающую среду Башкирского Зауралья / Р.А. Даукаев, Р.А. Сулейманов // Экология человека. – 2008. - №7. – С. 9 – 13

77. Дмитриев, М.Т. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде / М.Т. Дмитриев, Н.И. Казина, И.А. Пинигина.– М.: Химия, 1989. – 368 с.

78. Добахов, М.В. Некоторые аспекты техногенной трансформации городских почв / М.В. Добахов, В.И. Титова // Тез. докл III съезда Докучаев. о-ва почвоведов. – М., 2000. – С. 34 – 35

79. Добровольский, В.В. Гипергенез четвертичного периода / В.В. Добровольский. - М.: Недра, 1966. – 234 с.

80. Добровольский, В.В. Гипергенные образования Восточной Африки / В.В. Добровольский // Восточноафриканская рифтовая система. - М., - 1974. – Т2. - С. 5 – 55

81. Добровольский, В.В. Некоторые аспекты загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами / В.В. Добровольский // Биологическая роль микроэлементов. – М., - 1983. - С. 44 – 55

82. Добровольский, В.В. Биогеохимические циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почв / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1997. - №4. - С. 431 – 441

83. Добровольский, В.В. Роль гуминовых кислот в формировании миграционных массопотоков тяжелых металлов / В.В. Добровольский // Почвоведение. - 2004. - № 1. - С. 32 – 39

84. Добровольский, Г.В. Охрана почв / Г.В. Добровольский, Л.А. Гришина. - М.: Изд-во МГУ, 1985. - 224 с.

85. Дончева, А.В. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды / А.В. Дончева, Л.К. Казаков, В.Н. Калуцков. - М.: Экология, 1992. – 255 с.

86. Дриц, В.А. Ферригидрит и его фазовые превращения при нагревании в окислительной и восстановительной обстановках / В.А. Дриц, А.И. Горшков, Б.А. Сахаров, А.Л. Салынь, А. Мансо, А.В. Сивцов // Литология и полезные ископаемые. - 1995. - №1. - С. 76 – 84

87. Дуров, Н.М. Оценка и прогнозирование ветрового разноса загрязняющих веществ в зоне влияния металлургических предприятий / Н.М. Дуров, В.В. Коровушкин, Г.С. Под-

городецкий, Ю.С. Юсфин // Изв. Высш. Учебн. Заведений. Черная металлургия. - 2009. - №3. – С. 57 – 61

88. Евдокимова, Г.А. Накопление нитратов в растениях на почвах с повышенным содержанием тяжелых металлов / Г.А. Евдокимова // Почвоведение. – 1993. - №8. – С. 104 – 108

89. Евдокимова, Г.А. Влияние выбросов предприятий цветной металлургии на почву в условиях модельного опыта / Г.А. Евдокимова // Почвоведение. – 2000. - №5. – С. 630 – 638

90. Евдокимова, Г.А. Исследование влияния тяжелых металлов на почвенные водоросли в связи с проблемой биомониторинга / Г.А. Евдокимова, Н.П. Мозгова, Э.А. Штина // Антропоген. воздействие на экосистемы Кольского Севера. – Апатиты, 1988. – С. 42 – 51

91. Евдокимова, Г.А. Аккумуляция меди и никеля почвенными грибами / Г.А. Евдокимова, Н.П. Мозгова // Микробиология. – 1991. - Т. 60. - вып. 5. - С. 801 – 807

92. Елпатьевский, П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах / П.В. Елпатьевский. – М.: Наука, 1993. - 53 с.

93. Емельяненко, Т.И. Воздействие загрязнения на накопление тяжелых металлов в почво-ландшафтах города Магнитогорска / Т.И. Емельяненко // Экологические проблемы промышленных зон Урала: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (Россия, г. Магнитогорск, май; 1997). – Магнитогорск, 1999. - С. 102 – 105

94. Еремченко, О.З. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь / О.З. Еремченко, Н.В. Москвина // Почвоведение. – 2005. - №7. – С. 782 – 789

95. Ерофеев, Л.Я. Каппаметрия при оценке загрязненности территории тяжелыми металлами / Л.Я. Ерофеев, О.А.

Миков // Экология и геофизика: матер. Всеросс. науч.-техн. конф., Дубна, 1995. – С. 34 - 38

96. Жарнова, И.А. Зависимость качества сельскохозяйственной продукции от атмосферного промышленного загрязнения / И.А. Жарнова, Т.П. Иванова// Химия в сельском хозяйстве. – 1987. - №4. – С. 26 – 28

97. Жорняк, Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: автореф. дис.... канд. г-м. наук / Л.В. Жорняк. - Томск, 2009. - 22 с.

98. Завалишин, С.И. Геохимические особенности профильного распределения тяжелых металлов в почвах средней тайги Западно-Сибирской низменности / С.И. Завалишин, О.М. Завалишина, А.И. Щевурдин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2005. - №4. – С. 36 – 38

99. Загурский, А.М. Специфика микростроения и генезиса магнитных соединений железа в почвах: автореф. дис.... канд. биол. наук / А.М. Загурский. - М., 2008. - 25 с.

100. Зайцева, Н.В. Экология и здоровье детей Пермского региона / Н.В. Зайцева, Н.И. Аверьянова, И.П. Корюкина. – Пермь: ПГМА, 1997 - 147 с.

101. Звонарев, Б.А. Закономерности распределения ртути в почвах вблизи источника загрязнения / Б.А. Звонарев, Н.Г. Зырин // Почвоведение. – 1981. - №4. - С. 32- 39

102. Зонн, С.В. Железо в почвах / С.В. Зонн. - М.: Наука, 1982. - 207 с.

103. Зырин, Н.Г. К вопросу о формах соединений Cu, Zn, Pb в почвах и доступность их для растений / Н.Г. Зырин, Н.А. Чеботарева // Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М, 1979. – С. 350 – 386

104. Зырин, Н.Г. Научные основы разработки предельно-допустимых количеств тяжелых металлов в почвах / Н.Г. Зырин, А.К. Обухов, С.Г. Малахов, Р.К. Первунина, В.Б. Ильин // Докл. Симпозиумов седьмого Делегатского съезда

Всесоюзного общества почвоведов. – 1988. - Ч.6. – С. 276 – 281

105. Иванов, А.В. Магнитное и валентное состояние железа в твердой фазе почв: автореф. дис.... д-ра. биол. наук / А.В. Иванов. – М., 2003. - 41 с.

106. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 1 / В.В. Иванов. - М.: Недра, 1994. - 303 с.

107. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 4 / В.В. Иванов. - М.: Экология, 1996. - 408 с.

108. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 6 / В.В. Иванов. - М.: Экология, 1997. - 606 с.

109. Иванова, Т.П. О возможности применения магнитометрических способов диагностики почв при крупномасштабном почвенном обследовании / Т.П. Иванова, Н.А. Бусоргина, Е.А. Пакратова, О.А. Страдина // Тез. докл. науч.-произв. конф. проф-препод. коллектива. – Ижевск, 1995. – С. 5 – 6

110. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

111. Импактное загрязнение почв тяжелыми металлами и фторидами. - Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 164 с.

112. Инишева, Л.И. Соедращание химических элементов в торфах верхового типа / Л.И. Инишева, Е.Э. Езупенок // Современные проблемы загрязнения почв. Сб. мат-лов II межд. науч. конф. - М., 2007. - Т. 2. - С. 63 – 67

113. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

114. Каплунова, Е.В. Оценка уровня загрязненности почв по содержанию подвижных форм меди, цинка, марганца / Е.В. Каплунова, В.А. Большаков // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. - №2. – С. 59 – 61

115. Карпачевский, Л.О. Диагностика железистых минералов при помощи мессбауэровской спектроскопии / Л.О.

Карпачевский, В.Ф. Бабанин, Т.С. Гендлер, А.А. Опаленко, Р.Р. Кузьмин // Почвоведение. - 1972. - №10. - С. 110 – 120

116. Касимов, Н.С. Экогеохимия городских ландшафтов / Н.С. Касимов. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 343 с.

117. Каталымов, М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.: Химия, 1965. – 332 с.

118. Кашанский, А.Д. Тяжелые металлы в почвах хозяйственных объектов МСХА / А.Д. Кашанский, И.Г. Платонов // Международная научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». – М., 2004. - С. 56 - 57

119. Кашулина, Г.М. Аэротехногенная трансформация почв европейского субарктического региона Ч.1 / Г.М. Кашулина. - Под ред. Переверзева В.Н. –Апатиты: Кольс. науч. центр, 2002. – 158 с.

120. Киприянов, Н.А. Экологически чистое растительное сырье и готовая пищевая продукция / Н.А. Киприянов. – М.: Аграр, 1997. – 106 с.

121. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

122. Князев, Д.А. Неорганическая химия / Д.А. Князев, С.Н. Смарыгин. - М.: Высшая. школа, 1990. – 430 с.

123. Ковда, В.А. Микроэлементы в почвах Советского союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. - М.: Изд-во МГУ, 1957. – 67 с.

124. Ковриго, В.П. Почвы Удмуртской Республики: моногр. / В.П. Ковриго. – Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.

125. Колесников, С.И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами / / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков. - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. - 232 с.

126. Колесников, С.И. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами / С.И. Ко-

лесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Почвоведение. - 2002. - № 12. - С. 1509 – 1514

127. Корельский, Д.С. Оценка уровня загрязнения приповерхностного слоя почв в зоне воздействия металлургического предприятия / Д.С. Корельский // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2008. - №9. – С. 330 – 333

128. Корнилов, А.В. Влияние предприятий цветной металлургии на загрязнение атмосферного воздуха и почв тяжелыми металлами / А.В. Корнилов, Н.Н. Бадовская, А.Е. Волошин, Ю.С. Кукин // Материалы II всесоюзной конференции «Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы». – М., 1988. – Ч.1. - С. 100 – 103

129. Коровушкин, В.В. Мессбауэровская спектроскопия в решении задач экологии / В.В. Коровушкин, Р.В. Голева // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о земле. – 2004. - № 4. – С. 40 – 50

130. Коротаев, Н.Я. Почвы Пермской области / Н.Я. Коротаев. – Пермь: Кн. изд-во, 1962. – 279 с.

131. Косицын, А.В. Действие тяжелых металлов на растения и механизм металлоустойчивости / А.В. Косицын, Н.В. Алексеева-Поносова // Растения в экстремальных условиях минерального питания. - Л., 1983. - С. 5 – 22

132. Кошелева, Н.Е. Регрессионные модели поведения тяжелых металлов в почвах Смоленско-московской возвышенности / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, О.А. Самонова // Почвоведение. - 2002. - № 8. - С. 954 – 966

133. Кошкина, В.С. Экология и здоровье населения крупного промышленно центра черной металлургии: монография / В.С. Кошкина. - Магнитогорск: МаГУ, 2004. – 205 с.

134. Краснова, Н.М. Ферментативная активность как биоиндикатор загрязнения почв тяжелыми металлами.: автореф. дис.... канд. с-х. наук / Н.М. Краснова. - М., 1982. – 25 с.

135. Кропачев, А.М. Геохимические аспекты техногенных деформаций природной среды в пределах градопромыш-

ленных агломераций // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охрана окружающей среды. Перм. ун-т. - Пермь, 1997. – С. 172

136. Крылова, М.Д. Главные темноцветные минералы высокотемпературных комплексов / М.Д. Крылова, В.А. Галибин, Д.П. Крылов. - Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1991. - 248 с.

137. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 123 с.

138. Кулешов, М.Н. Роль тяжелых металлов в природной системе почва-растение и методы их определения: Учебное пособие / М.Н. Кулешов, В.П. Пулянов. – Харьков: Харьк. гос. аграр. ун-т им. В.В.Докучаева, 1995. – 55 с.

139. Ладонин, Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения / Д.В. Ладонин // Почвоведение. - 2002. - № 8. - С. 954 – 966

140. Ладонин, Д.В. Влияние железистых и глинистых минералов на поглощение меди, цинка, свинца и кадмия в конкреционном горизонте подзолистой почвы / Д.В. Ладонин // Почвоведение. - 2003. - № 10. - С. 1197 – 1206

141. Ларионова, Е.А. Тяжелые металлы в горно-таежных ландшафтах: автореф. дис.... канд. геогр. наук / Е.А. Ларионова. - Пермь, 2004. – 23 с.

142. Лебедева, Е.В. Микромицеты почв в окрестностях комбината цветной металлургии на Кольском полуострове / Е.В. Лебедева // Микология и фитопатология. – 1993. - Т.27. - вып. 1. – С.12 – 17

143. Лебедева, Е.В. Микромицеты почв, поврежденных влиянию отходов горно-металлургического комбината / Е.В. Лебедева, Т.В. Канивец // Микология и фитопатология. - 1991. - Т. 25. - вып. 2. - С. 111 – 116

144. Лукшин, А.А. Магнитная восприимчивость основных типов почв Удмуртской АССР / А.А. Лукшин, Т.И. Ру-

мянцева, В.П. Ковриго // Почвоведение. – 1968. - №1. – С. 93 – 98

145. Лурье, Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1979. - 480 с.

146. Мажайский, Ю.А. Агроэкология техногенного загрязнения ландшафтов / Ю.А. Мажайский, С.А. Тобаров, Н.Н. Дубенок, Ю.П. Пожогин. Рязань: Рязан. гос. мед. ун-т им. И.П. Павлова. СмоФленск; Маджента, 2003. – 383 с.

147. Майстренко, В.Н. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.Н. Будников. – М.: Химия, 1996. – 319 с.

148. Максимович, Г.А. Опыт геоморфологического районирования Пермской области / Г.А. Максимович // Записки Пермского отдела Географического общества СССР. – Пермь, 1960. - Вып. 1. – С. 10 – 22

149. Максимович, Г.А. Геоморфологическая карта Пермской области / Г.А. Максимович, Е.И. Вохмянина // Информ. Листок. ЦНТИ. – Пермь, 1979. - № 179.

150. Максимович, Н.Г. Минералогия отвалов Чусовского металлургического завода / Н.Г. Максимович, Е.А. Меньшикова, С.М. Блинов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н.Чирвинского: Материалы науч. конф. Перм. ун-т.- Пермь, 1999. - С.47-48

151. Малеев, К.И. Экологическое краеведение: Пермская область / К.И. Малеев, С.А. Двинских. - Пермь: «Книжный мир», 2003. - 224 с.

152. Мануйлова, Т.А. Анализ техногенного влияния отраслей промышленности Российской Федерации на окружающую среду / Т.А. Мануйлова, Н.П. Панков // Пищевая промышленность. - 2005. - № 7. - С. 50 -52

153. Махонько, Э.П. Опыт исследования загрязнения почв металлами вокруг металлургических предприятий / Э.П. Махонько, С.Г. Малахов, Г.К. Вертинская // Тр. Ин.-та экспериментальной метеорологии. – 1985. Т.13. – С. 50 – 59

154. Медведева, М.В. Влияние эмиссий Костомукшинского ГОКа на биологическую активность лесных почв / М.В. Медведева // Лесное хозяйство. - 2000. - №3. – С. 27 – 32

155. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. - М.: ЦИНАО, 1992. - 64 с.

156. Миков, О.А. Опыт использования метода каппа-метрии для оценки экологической ситуации / О.А. Миков // Международный научный симпозиум «Молодежь и проблемы геологии». - Томск, 1996. – С. 34 - 37

157. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области/ В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

158. Мовчан, В.Н. Биогеохимические аспекты геоэкологических исследований / В.Н. Мовчан, М.Г. Опекунова // Вестник СПбГУ. – 2002. - Сер. 7. - вып. 3. - № 23. – С. 93 – 103

159. Можарова, Н.В. Формирование магнитных оксидов железа в почвах под подземным хранилищем газа / Н.В. Можарова, В.В. Пронина, А.В. Иванов, С.А. Шоба, А.М. Загурский // Почвоведение. - 2007. - №6. - С. 707 – 720

160. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: Системная организация, экологическое значение, мониторинг. Изд. 2е / Г.В. Мотузова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 168 с.

161. Назаренко, А.В. Влияние эмиссий металлургического комбината «Североникель» (г. Магнитогорск) на почвенные микромицеты / А.В. Назаренко, Е.В. Лебедева // Микология и криптогам. ботаника в России: традиции и современность. – СПб., 2000. – С. 207 – 209

162. Николаев, С.Ф. География Пермской области / С.Ф. Николаев, Н.М. Степанов, П.Н. Чепкасов. – Пермь: Пермское книжное изд-во, 1973. – 136 с.

163. Никонов, В.В. Рассеянные элементы в подзолистых Al-Fe-гумусовых почвах в условиях воздушного загрязнения медно-никелевым производством и изменяющегося литогенного фона / В.В. Никонов, Н.В. Лукина, М.В. Фронтасьева // Почвоведение. – 1999. - №3. - С. 370 – 382

164. Обыденова, Л.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель агроэкологической оценки почв: автореф. дис.... канд. биол. наук / Л.А. Обыденова. - М., 2003. – 24 с.

165. Овеснов, С.А. Конспект флоры Пермской области / С.А. Овеснов. - Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997. - 252 с.

166. Оливериусова, Л. Воздействие черной металлургии на почвенную мезофауну лесных и луговых природных комплексов южной тайги / Л. Оливериусова // Динамика географических систем. - М., 1983. - С. 76 – 79

167. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 400 с.

168. Панин, И.Н. Окружающая среда Верх-Исетского района: состояние, проблемы, перспективы / И.Н. Панин, В.А. Терешков, В.Н. Турченко, О.С. Наумова, Н.С. Баторская, В.Н. Огородников, О.Г. Бекшенев. - Екатеринбург: Урал. гос. горн.-геол. акад, 1998. – 211с.

169. Панин, М.С. Химическая экология / М.С. Панин. - Семипалатинск: Семипалат. гос. ун-т, 2002. – 852 с.

170. Пасыпанова, М.В. Накопление тяжелых металлов растениями на отвале литейного производства / М.В. Пасыпанова // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала. Сб. науч. тр. – Свердловск, 1989. – С. 113 – 120

171. Переломов, Л.В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв / Л.В. Переломов // Агрохимия. - 2007. - №11. - С. 85 – 96

172. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астерия 2000, 1999. - 768 с.

173. Пинский, Д.Л. Закономерности и механизмы катионного обмена в почвах: автореф. дис.... д-ра биол. наук / Д.Л. Пинский. - М., 1992. - 34 с.

174. Пинский, Д.Л. Тяжелые металлы и окружающая среда / Д.Л. Пинский. – Пушино: Науч. центр биол. исслед. Ин-т почвоведения и фотосинтеза, 1988. – 19 с.

175. Плющ, Л.В. Исследования загрязнения территории складирования токсичных отходов горно-металлургической промышленности тяжелыми металлами / Л.В. Плющ, Е.В. Елдина // Горный информационно-аналитический Бюллетень. – 2005. - №11. – С. 163 – 167

176. Пляскина, О.В. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами / О.В. Пляскина, Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 2009. - №7. – С. 877 – 885

177. Понизовский, А.А. Механизмы поглощения свинца (Pb) почвами / А.А. Понизовский, Е.В. Мироненко // Почвоведение. - 2001. - №4. - С. 418 – 429

178. Попова, Л.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов почвами и растениями в условиях промышленного города / Л.Ф. Попова // Фундаментальные исследования академии естествознания. – 2005. - № 10. - С. 88 – 89

179. Пугин, К.Г. Снижение экологической нагрузки при обращении со шлаками черной металлургии: монография / К.Г. Пугин, Я.И. Вайсман, Б.С. Юшков, Н.Г. Максимович. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2008. – 316 с.

180. Рабинович, М.И. Загрязненность ряда районов Челябинской области токсикантами, их влияние на организм крупного рогатого скота и продукты питания человека / М.И. Рабинович, А.М. Гертман, И.Н. Буренкова, А.И. Лознян, Н.Н.Семенец, И.А. Солянская, С.С. Шакирова // Материалы междунар. конф. «Загрязненность экол. систем токсикантами и актуал. вопр. соврем. фармакологии и токсикологии. Подгот. кадров». – Троицк, 1996. – С. 29 – 33

181. Решетников, М.В. Магнитная восприимчивость и концентрация тяжелых металлов в почвах урбанизированных территорий (на примере г. Саратова) / М.В. Решетников, Н.В. Добролюбова // Цветные металлы. – 2009. - № 11. - С. 15 – 18
182. Рихванов, Л.П. Содержание тяжелых металлов в почвах / Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков, С.И. Сарнаев. - Томск: Том. политех ун-т, 1993. – 83 с.
183. Рогова, О.Б. Медь и цинк в почвах зоны влияния Череповецкого комбината в связи с содержанием в них техногенных оксидов железа: автореф. дис.... канд. биол. наук / О.Б. Рогова. – М., 2010. - 27 с.
184. Рогова, О.Б. Физико-химическая характеристика состояния цинка в почвах Череповецкой техногеохимической аномалии / О.Б. Рогова, Ю.Н. Водяницкий // Докл. РАСХН. - 1996. - №3. - С. 17 – 19
185. Романов, О.В. Содержание меди, цинка и кадмия в агрегатах и сезонное изменение структуры дерново-подзолистой почвы / О.В. Романов, Ю.В. Алексеев // Агрофизика XXI. – СПб., 2002. – С. 399 – 403
186. Румянцева, Т.И. Магнитная восприимчивость почв Удмуртской АССР: автореф. дис.... канд. биол. наук / Т.И. Румянцева. – Ижевск, 1971. – 16 с.
187. Савич, В.И. Почвенная экология / В.И. Савич, Н.В. Парахин, В.Г. Сычев, Л. Степанова, В.Т. Лобков, А.Ю. Щербаков, Е.А. Романчик. – Орел, Изд-во ОГАУ, 2002. - 546 с.
188. Саэт, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. - М.: Недра, 1990. - 335 с.
189. Саэт, Ю.Е. Количественная оценка соотношения между промышленными выбросами металлов и их накопление в природных и сельскохозяйственных почвах / Ю.Е. Саэт, И.Л. Борисенко // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Тр. 5-го Всесоюз. Совещ. - Л., 1989. - С. 164 – 171

190. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1200-03. М.: Минздрав, 2003. – 29 с.

191. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. СанПиН 42-128-1433-87, М.: Минздрав, 1988. – 27 с.

192. Сатаев, Э.Ф. Режимы и оксидогенез почв на древнеаллювиальных отложениях Средне-Камской низменной равнины: автореф. дис.... канд. с-х. наук / Э.Ф. Сатаев. - М., 2005. - 22 с.

193. Сафронова, М.А. Гигиеническая оценка воздействия техногенных химических факторов среды обитания на развитие хронического гастродуоденита у детей (на примере Пермского края): автореф дис.... канд. мед. наук / М.А. Сафронова. - Пермь, 2009. – 24 с.

194. Седьмов, Н.А. Магнетизм микрочастиц из атмосферных выпадений, осадочных пород и почв: автореф. дис.... канд. физ-мат. наук / Н.А. Седьмов. - М., 1989. – 24 с.

195. Седьмов, Н.А. Магнитоминералогические особенности магнетита из различных осадочных пород и отложений / Н.А. Седьмов, В.Ф. Бабанин, В.В. Морозов, А.А. Залуцкий, В.И. Трухин, С.А. Шоба // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика и астрономия. – 2004. - №1. - С. 59 – 65

196. Семячков, А.И. Металлы в окружающей среде горно-металлургических комплексов Урала / А.И. Семячков. – Екатеринбург: Ур. гос. горн.-геол. акад, 2001. – 320 с.

197. Семячков, А.И. Теория, методика и практика геологической оценки окружающей среды горно-металлургических комплексов / А.И. Семячков, В.А. Почечун, В.Л. Советкин. - Екатеринбург: Ур. гос. горн.-геол. акад, 2006. – 78 с.

198. Сиражиев, А.А. Экспресс контроль уровня загрязнения почв на территории г. Казань / А.А. Сиражиев, И.Ю. Чернова // ArcReview. – 2008. - № 3. – С. 25 - 28

199. Смирнов, Л.И. Многомерный статистический анализ концентрации тяжелых металлов и радионуклидов во мхах и почве Южного Урала / Л.И. Смирнов, М.В. Фронтосьева, Э. Стейннес // Атомная энергия. – 2004. - Т.97. - №1. – С. 68 – 74
200. Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2008 г [Электронный ресурс] / Управление по охране окружающей среды Администрации Пермского края. – Пермь, 2008. – URL: <http://www.permecology.ru> (20.12.2009)
201. Софроницкий, Т.А. Геологический очерк / Т.А. Софроницкий // Химическая география вод и гидрохимия Пермской области. – Пермь, 1967. – С. 26 – 41
202. Сошникова, Е.С. Влияние загрязнений Чусовского металлургического завода на видовой состав растений в санитарно-защитной зоне и на окраине города / Е.С. Сошникова, В.А. Пузикова // Пермский аграрный вестник. - 1998.-№ 3. - С. 37-38
203. Страдина, О.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель их загрязнения тяжелыми металлами: автореф. дис.... канд. с-х. наук / О.А. Страдина. – Уфа, 2008. – 20 с.
204. Табаксблат, Л.С. Основы почвоведения и геохимии ландшафта / Л.С. Табаксблат. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1998. – 196 с.
205. Трифонова, Т.А. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов / Т.А. Трифонова, Л.А. Ширкин, Н.В. Селеванова. – Владимир: Владимир Полиграф, 2007. - 170 с.
206. Тютюнник, Ю.Г. Зависимость содержания тяжелых металлов в урбаногемах от уровня загрязнения атмосферного воздуха / Ю.Г. Тютюнник // География и природные ресурсы. – 1997. - №2. – С. 63 – 67

207. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / Под ред. М.М. Овчаренко. – М.: «Пролетарский светоч», 1997. – 290 с.

208. Узунов, К.Й. Влияние предприятий черной металлургии на загрязнение почв, растительности и вод тяжелыми металлами: автореф. дис.... канд. биол. наук /К.Й. Узунов. - М., 1989. – 27 с.

209. Улигова, Т.С. Гуминовые вещества и их роль в инактивации тяжелых металлов в почве (аналитический обзор) / Т.С. Улигова, Ф.В. Гедгафова // Проблемы экологии горных территорий. – Нальчик, 2003. – С. 163 – 183

210. Фатеева, Н.М. К оценке возможности лазерного микроанализа техногенно-загрязненных почв / Н.М. Фатеева, Т.С. Сиволобова // Бюл. Почв. ин-та им. Докучаева. – 1988. - Т.42. – С. 13 – 16

211. Фатеева, Н.К. Использование магнитных методов для экспрессной оценки загрязнения почв предприятиями черной металлургии / Н.К. Фатеева, В.Н. Калуцков, В.Г. Граковский, С.Е. Сорокин, // Система методов изуч. почв. покрова, деградир. под влиянием хим. загрязнения. – М., 1992. – С. 99 – 101

212. Федоров, А.С. Влияние техногенных факторов на содержание тяжелых металлов в гумусовом горизонте почв и растениях / А.С. Федоров, Н.Е. Потапова // Почвоведение. - 1988. - №3. - С. 137 – 147

213. Федорова, А.И. Биоиндикация загрязнения городской среды / А.И. Федорова // Изв. АН, Сер. Географ. - М., 2002. – С. 72 – 80

214. Ферсман, А.Е. Геохимия / А.Е. Ферсман. – М.: Наука, 1955. – 486 с.

215. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.

216. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина и Д.К. Садовниковой – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 208 с.

217. Хохряков, А.В. Черная металлургия и экология Урала / А.В. Хохряков, О.А. Бугай // Горный журнал (Изв. высш. учебных заведений). – 2006. - №3. – С. 69 – 75

218. Цвигун, И.П. Влияние выбросов промышленных предприятий города Мценска на распределение тяжелых металлов в склоновых почвах / И.П. Цвигун, В.С. Громова // Образование, наука, медицина: эколого-экономический аспект. – Пенза, 2005. – С. 148 – 149

219. Чащин, А.Н. Оксиды железа и тяжелые металлы в загрязненных металлургическим производством почвах г. Чусовой (Среднее Предуралье): автореф. дис.... канд. биол. наук / А.Н. Чащин. – Уфа, 2010. – 28 с.

220. Черных, Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. - М.: Агроконсалт, 1999. – 176 с.

221. Черных, Н.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами и качество растениеводческой продукции / Н.А. Черных, И.С. Челтыгамашева, Ю.Н. Баева // Вестник российского университета дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2003. - №3. – С. 179 – 187

222. Чугунова, М.В. Влияние тяжелых металлов на почвенные микробиоценозы и их функционирование: автореф. дис.... канд. биол. наук / М.В. Чугунова. - Л., 1990. - 17 с.

223. Чусовой. - Пермь: Пермское кн. изд-во, 2004. - 190 с.

224. Шавнин, С.А. Оценка влияния техногенных отходов ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» на фитотоксичность почв, прилегающих к шлакоотвалу / С.А. Шавнин, И.А. Юсупов, Н.В. Марина, Н.Г. Новоселова // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. – Екатеринбург, 2007. – С. 782 – 790

225. Шаприцкий, В.Н. Защита атмосферы в металлургии / В.Н. Шаприцкий. – М.: Металлургия, 1984. – 214 с.
226. Шарманов, Т.М. Токсикология фосфора, фтора и их неорганических соединений / Т.М. Шарманов, А.Б. Мамырбаев. – Алма-Ата: Голым, 1992. – 140 с.
227. Шимановский, Л.А. Основные факторы формирования рельефа Пермской области / Л.А. Шимановский // Ученые записки ПГУ. – Пермь, 1970. - № 20. – С. 141 – 159
228. Шишкин, М.А. Эколого-геохимический анализ современных ландшафтов Прикамья / М.А. Шишкин, А.К. Лаптева. - Екатеринбург: УрО, РАН, 2009. - 385 с.
229. Энциклопедия Пермской области [Электронный ресурс] / Перм. регион. центр. информатизации, Перм. гос. техн. ун-т ; авт.-сост. П. Н. Агафонов [и др.] ; разработ. А. В. Кубышкин [и др.]. - Пермь, 2000. - Загл. обл. : Пермская область : энциклопедия. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв.; Демонстрационная Интернет-версия. - URL: <http://imt.perm.ru/enciclopedia.htm> (23.12.2008).
230. Языков, Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореф. дис.... д-ра г-м. наук / Е.Г. Языков. – Томск, 2006. – 47 с.
231. Яковлев, А.С. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании «Норильский никель» / А.С. Яковлев, И.О. Плеханова, С.В. Кудряшов, Р.А. Аймалетдинов // Почвоведение. – 2008. - №6. – С. 737 – 750
232. Янкаускайте, М. Распределение тяжелых металлов в почвах холмистых геосистем / М. Янкаускайте, Г. Паулюкявичус // Геогр. ежегодник. – 1996. - Т. 22-23. – С. 137 – 145
233. Ainsworth, C.C. Cobalt, cadmium and lead sorption to hydrous iron oxide: Residence Time Effect / C.C. Ainsworth, J.L. Pilon, P.L. Gassman, W.G. Van Der Sfuys // Soil Sci. Soc. Am.J. - 1994. - Vol. 58. - №6. - P. 1615 – 1623

234. Angelova, V. Uptake and distribution of Pb, Cu, Zn and Cd in cereal crops, grown in industrially polluted region / V. Angelova, R. Ivanova, K. Ivanov // Bulg. J. agr. Sc. – 2003. – Vol. 9. - №519. - P. 665 – 672

235. Anon.,. Schadstoffuntersuch – ungsprogramm / Anon // IfD Information – Hessisches Landesamt Fur Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung. - Kessel, 1986. - T. 11/86. – P. 1 – 54

236. Baath, E. Effect of heavy metals in soils on microbial processes and populations (A. review) / E. Baath // Air and soil pollution. - 1989. - Vol. 47. - P. 335 – 379

237. Baron, S. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-Lozere, France) / S. Baron, J. Carignan, A. Ploquin // Environ. Sci. Technol. - 2006. - Vol. 40. - P. 5319 – 5326

238. Baumjohann, P. Belastung von Klingen in Georgsmarienhütte, Kreis Osnabrück / P. Baumjohann, O. Melzer, D. Alt, L. Schwermetall // Sch. – R/Verb. Dt. Landw. Unters. Forsch. – Anst.. – Darmstadt. – 1992. - №35. – P. 669 – 672

239. Borka, G. Effect of metalliferous dusts from dressing works on the growth, development, main metabolic processes and yields of winter wheat in situ and under controlled conditions / G. Borka // Environm Pollut. - 1984. - T.35. - №1. – P. 67 – 73

240. Bowen, H.J.M. Trace elements in biochemistry / H.J.M. Bowen. - London – NY.: Acad. Press, 1966. - 241 p.

241. Bowen, H.J.M. Environmental chemistry of elements / H.J.M. Bowen. - N.Y.: Acad. Press, 1979. - 333 p.

242. Braun, J.J. Solid/liquid REE fractionation in the lateritic system of Goyoum, east Cameroon: The implication for the present dynamics of soil covers of the humid tropical regions / J.J. Braun, J. Viers, B. Dupre, M. Polve, H. Ndam, J.P. Muller // Geochim. Cosmochim. Acta. - 2005. Vol. 62. - P. 273 – 299

243. Brown, G.E. Mineral surface and bioavailability of heavy metals: A molecular – scale perspective / G.E. Brown, A.L.

Fester, J.D. Ostergren // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. - 1999. - Vol. 96. - P. 3388 – 3395

244. Brummer, G.W. Reaction kinetics of the adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite / G.W. Brummer, J. Gerth, K.G. Tiller // J. Soil Sci. - 1988. - Vol. 39. - № 1. – P. 37 – 52

245. Brummer, G.W. Schwermetallbelastungen Boden / G.W. Brummer, V. Hornburg, B.A. Hiller // Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. Gottingen. – 1991. - T. 63. – P. 31 – 42

246. Cao, X.D. Effects of redox potential and pH value on the release of rare elements from soil / X.D. Cao, Y. Chen, X.R. Wang, X.H. Deng // Chemosphere. - 2001. - Vol. 44. - P. 655 – 661

247. Cuzzydło, J. Zawartość metalicznych Kich w glebach I zoslinach uprawnych w rejonie Kombinatu metalurgicznego Huta im. Lenina / J. Cuzzydło // Acta agr. silvestria. Ser. Agr. – 1988. - T. 27. – P. 119 – 130

248. Dixon, J. Conservation research roundup / J. Dixon // Soil and Water Consv. News. – 1982. - №7. – P. 10 – 11

249. Gardon, A.G. Some effects of smeltek pollution north-east of Falconbridge, Ontario / A.G. Gardon, E. Gorham // Can. J. Botany. – 1960. - №3. - P. 47 – 53

250. Gillet, S. Humus forms and metal pollution in soils / S. Gillet, J.F. Ponge // Europ.J.Soil Sc. – 2002. - Vol. 53. - №4. – P. 529 – 539

251. Hornburg, V. Untersuchungen zur Mobilitat und Ver-fugbarkeit von Schwermetallen in Boden / V. Hornburg, G. Brummer // Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. Gottingen. – 1989. - T. 59. - №2. – P. 727 – 731

252. Kapicka, A. Magnetic method of mapping industrially polluted soils / A. Kapicka, E. Petrovsky, P. Hrabak, V. Hoffman, M. Knab // Proceedings of First International Conference on soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining area. - 2000. - Vol. 1. - P. 151–155

253. Kinniburgh, D.C. Adsorption of alkaline earth transition, and heavy metal cation by hydrous oxide yeils of iron and aluminum / D.C. Kinniburgh, M.L. Jackson, J.K. Syers // Soil Sci. Soc. Amer. J. - 1976. - Vol. 40. - P. 796 – 799

254. Kovacs, M. Heavy metal content in industrial regions / M. Kovacs, G. Turcsany, P. Szoke, K. Penksza, L. Kaszab, A. Koltay // Acta agron. Hung. - 1993. – Vol. 42. - № ¾. – P. 171 – 183

255. Land, M. Solid Speciation and fractionation of rare elements in a spodosol profile from northern Sweden as revealed by sequential extraction / M. Land, B. Ohlander, J. Ingri, J. Thunberg // Chem. Geol. - 1999. - Vol. 160. - P. 121 – 138

256. LeBorgne, E. Surles proprietes magnetiques des sols et Congn / E. LeBorgne // Soil Sci. - 1954. - Vol 3. - №2. – P. 34 – 46

257. Leckie, J.O. Control mechanisms for metals in natural waters / J.O. Leckie, R.O. James // In Aqueous – Environmental chemistry of metals. Ann. Arbor. Sci. - 1974. - P. 1 – 76

258. Liu F. Trace elements in manganese-iron nodules from a Chinese Alfisol / F. Liu, C. Colombo, P. Adamo, Z. He j., A. Violante // Soil Sci. Soc. Am. J. - 2002. - Vol. 66. - P. 661 – 670

259. Maher, B.A. Characterization of soils by mineral magnetic measurements / B.A. Maher // Phys. Earth Planet Inter. - 1986. - Vol. 42. - № 1 – 2. - P. 76 – 92

260. Martinez, C.E. Coprecipitates of Cd, Cu, Pb and Zn in iron oxides: solid phase transformation and metal solubility after aging and thermal treatment / C.E. Martinez, M.B. McBride // Clays Clay Miner. - 1998. - Vol. 46. - № 5. - P. 537 – 545

261. McBride, M.B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils / M.B. McBride // Adv. Soil Sci. - 1989. - Vol. 10. - P. 1 – 47

262. McBride, M.B. Copper in solid and solution phases of soil / M.B. McBride, Y.K. Logeragan, A.D. Robson, K.D. Graham

// In copper in soils and plants. Academic Press. - New York, 1981. - P. 25 – 43

263. Minarik, L. The behavior of rare elements and Y during the rock weathering and soil formation in the Ricany granite massif, Central Bohemia / L. Minarik, A. Zigoval, J. Bendl, P. Skrivan, M. Stastny // *Sci. Total Environ.* - 1998. - Vol. 211.- P. 101 – 111

264. Mitchell, R.L. Trace elements in soils / R.L. Mitchell // *Chemistry of the soil.* – N. Y., 1964. - P. 320 – 368

265. Mitchell, R.L. Trace elements / R.L. Mitchell. - N.Y.: *Chemistry of the soil*, 1955. – 325 p.

266. Morin, G. XAFS determination of the chemical form of lead in smelter contaminated soils and mine tailings: Importance of adsorption process / G. Morin, I.D. Ostergren, F. Juillot, P. Ildefonce G. Calas, J. E. Brown // *Am. Mineral.* - 1999. - Vol. 84. - P. 420 – 434

267. Myers, J. Identifying metals contamination in soil: A geochemical approach / J. Myers, K. Thorbjornson // *Soil Sediment Contam.* - 2004. - Vol. 13. - P. 1 – 16

268. Pacyna, D.M. Emission and long-range transport of trace-elements in Europe / D.M. Pacyna, D.E Hanssen // *Tellus.* – 1984. – Vol. 36. - № 3. – P. 163 – 178

269. Ponnampereuma, F.N. Redox equilibria in flooded soils / F.N. Ponnampereuma, A. Teresita Loy, M. Estrella // *The Manganese oxide systems. Soil Science.* – 1969. - Vol. 108. - №1. – P. 48 – 57

270. Savichev, A.T. Determination of barium, lanthanum, and cerium contents in soils by the X-ray radiometric method / A.T. Savichev, Yu.N. Vodyantski // *Eurasian Soil Science.* – 2009. - Vol. 42. - №13. - P. 1461 - 1469

271. Schwertmann, U. Iron oxides / U. Schwertmann, R.M. Taylor // *Minerals in soil environments.* Madison (Wis). - 1977. - P. 145 – 180

272. Sidhu, P.S. Oxidation and ejection of nickel and zinc from natural and synthetic magnetites / P.S. Sidhu, R.J. Gilkes, A.M. Posner // Soil Sci. Soc. Amer.J. - 1981. - Vol. 45. - P 641 – 644

273. Sillanpaa, M. Micronutrients and nutrient status of soils: global study. / M. Sillanpaa // FAO soil bulletin. – Rome, 1982. - Vol. 48. – P. 44 – 94

274. Sollaku, F. Heavy metal soil contamination around the metallurgical plant of Elbasani in Albania / F. Sollaku, S. Fortuzi, O. Tota, B. Hugi, D. Chachalis, M. Darawsheh // International journal of food, agriculture and environment. – 2009. – Vol. 7. - P. 878 – 881

275. Strzyszcz, Z. Ferromagnetic properties of forest soils being under the influence of industrial pollution / Z. Strzyszcz // Air Pollut. Forest decline: Proc. 14 int. Meet Spec. Air Pollut. Eff. Forest. Ecosyst. 2 – 8 Oct. - 1988. - Vol. 1. - P. 201 – 208

276. Tripathi, J.K. Geochemistry and origin of ferruginous nodules in weathered granodioritic gneisses, Mysre Plateau, Southern India / J.K Tripathi, V. Rajamani // Geochim. Cosmochim. Acta. - 2007. - Vol. 71. - P. 1674 – 1688

277. Tyler, G. Rare earth elements in soil and plant systems – A review / G. Tyler // Plant and Soil. - 2004. - Vol. 267. - P. 191 – 206

278. Wang, X.S. Correlation between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoil: a case study from the city of Xuzhou, China / X.S. Wang, Y. Qin // Environ metal Geolgy. – 2005. – Vol. 49 - №1. - P. 10 – 18

279. Xian, X Chemical partitioning of cadmium, zinc, lead and copper in soils near smelter / X. Xian // J. environm. Sc. Health. Part A. – 1987. - T. A22. - №6. – P. 527 – 541

280. Xian, X. Relationship between concentration of heavy metals in soils and contents of that absorbed by mulberry plant / X. Xian, S. Homma, K. Kuno // J. sericult. Sc. Japan. – 1988. - T. 57. - №6. - P. 481 – 488

281. Yang, T. Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoil around the East Lake, Wuha, China / T. Yang, Q. Liu, L. Chan, G. Cao // *Geophys. J.* – 2007. - Int. – 171. – P. 603 – 612

282. Zawadzki, J. Fabianczyk Geostatistical evaluation of magnetic indicators of forest soil contamination by heavy metals / J. Zawadzki, T. Magiera // *Studia Geophysica et Geaetica.* – 2009. – Vol. 53. - №1. - P. 133 – 149