

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова»

А.А. Васильев, М.Н. Власов

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ  
ГОРОДСКИХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПОЙМ  
МАЛЫХ РЕК  
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕРМИ**

*Монография*

Пермь  
ИПЦ «Прокростъ»  
2023

УДК 631.482.1:550.4:502:551.435.122(470.53)  
ББК 40.38  
В-191

*Рецензенты:*

Н.В. Вашукевич – кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой почвоведения, агроэкологии и химии им. проф. Н.А. Иванова (ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет»);

Б.А. Смоленцев – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией географии и генезиса почв (ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук).

**В-191 Васильев, А.А.**

Эколого-геохимическое состояние городских аллювиальных почв пойм малых рек на примере города Перми : монография. / А.А. Васильев, М.Н. Власов : Министерство науки и высшего образования РФ, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». — Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2023. — 261 с. ; ил. ; 20 см. — Библиогр.: с. 179-204. — 30 экз. — ISBN 978-5-94279-582-5. — Текст : непосредственный.

В монографии рассмотрена проблема загрязнения тяжёлыми металлами почв пойм малых рек городов. Рассмотрены физико-химические свойства, гранулометрический и химический элементный состав почв пойм малых рек территории города Перми. Выявлены характеристики окислительно-восстановительных условий миграции и аккумуляции химических элементов. Охарактеризованы железосодержащие фазы-носители тяжелых металлов. Определены различия в уровнях опасности и степени элементного химического загрязнения аллювиальных почв. Установлены закономерности содержания, распределения и взаимосвязи химических элементов, выявлены приоритетные элементы-загрязнители, оценена их подвижность.

Адресовано специалистам природоохранных ведомств, ученым и обучающимся вузов почвенных и экологических направлений.

**УДК 631.4 631.482.1:550.4:502:551.435.122(470.53)**  
**ББК 40.38**

Печатается по решению научно-технического совета Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (протокол №1 от 08 февраля 2023 года).

ISBN 978-5-94279-582-5

© ИПЦ «Прокрость», 2023  
© Васильев А.А., 2023  
© Власов М.Н., 2023

## Оглавление

Введение.....	4
ГЛАВА 1. Почвы пойм городов и их эколого-геохимическое состояние.....	7
1.1 Источники и фазы-носители техногенных элементов в почвах пойм....	7
1.2 Техногенные элементы и окислительно-восстановительное состояние почв пойм.....	14
1.3 Оценка эколого-геохимического состояния почв пойм.....	19
1.4 Экологическая характеристика территории водосборных бассейнов малых рек г. Перми .....	31
ГЛАВА 2. Морфогенетические, физические и физико-химические условия трансформации, миграции и аккумуляции химических элементов в почвах пойм.....	37
2.1 Морфологические свойства.....	42
2.2 Гранулометрический состав, общие физические свойства, почвенно-гидрологические константы и физико-химические свойства почв.....	52
2.3 Окислительно-восстановительное состояние почв.....	61
ГЛАВА 3. Минералы железа в почвах пойм.....	77
3.1 Фазовый состав минералов железа и тяжелые металлы.....	77
3.2 Минералы железа и оптические свойства почв.....	106
ГЛАВА 4. Геохимическая оценка элементного состава почв пойм.....	112
4.1 Валовое содержание химических элементов.....	112
4.2 Содержание подвижных форм химических элементов.....	141
4.3. Оценка взаимосвязи концентрации химических элементов и экологических условий. Геохимические барьеры.....	154
ГЛАВА 5. Классификационное положение почв пойм малых рек города Перми.....	175
Заключение.....	176
Список литературы.....	178
Приложение 1. Нумерация разрезов, образцов горизонтов почв и наилок, отобранных в поймах малых рек г. Перми.....	204
Приложение 2. Химический состав коренных пород в долине р. Егошиха г. Перми.....	205
Приложение 3. Погодно-климатические условия.....	206
Приложение 4. Окислительно-восстановительное состояние почв пойм.....	207
Приложение 5. Удельная магнитная восприимчивость $\chi$ , $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг, почв и наилок пойм малых рек города Перми.....	221
Приложение 6. Химический состав почв.....	223
Приложение 7. Эколого-геохимическая обстановка г. Перми.....	261

## ВВЕДЕНИЕ

Элементное химическое загрязнение почв промышленных городов России и мира является проблемой как для общественности, так и для науки [213, 308, 321]. Риски накопления техногенных элементов (ТЭ) особенно высоки для почв пойм, что связано с их ландшафтно-геохимическим положением [15, 81, 229].

В г. Перми сосредоточены крупные промышленные предприятия машиностроения и металлообработки, что определяет высокую антропогенную нагрузку на почвенный покров города [33, 87, 105, 206, 269, 270, 271, 272, 283, 291]. На территории г. Перми протекает около 100 малых водотоков [89]. Почвы пойм малых рек, несмотря на малую площадь, выполняют важные функции в поддержании устойчивого функционирования городской среды. Долины малых рек при современных темпах и тенденциях развития г. Перми предусматривается использовать как зоны рекреации [70].

Мониторинг эколого-геохимического состояния почв городских пойм актуален, так как урбо-аллювиальные почвы чутко отражают экологические проблемы урболандшафтов [127, 159, 257]. В почвах пойм городских рек под влиянием урбопедогенеза происходит трансформация морфологических и физико-химических свойств, минералогического и химического составов, а также процессов миграции и аккумуляции техногенных элементов [5, 15, 26, 48, 58, 91, 127, 145, 163, 196, 246, 247, 248, 249, 284, 290, 303, 316, 317, 325, 331, 337, 350, 356, 371, 385, 386; 388, 389, 401]. Оценка эколого-геохимического состояния почв пойм малых рек г. Перми имеет актуальное значение для принятия природоохранных решений и организации контроля состояния почвенного покрова на территории города с населением свыше 1 млн. человек, расположенного в пределах водосборного бассейна Воткинского водохранилища на р. Кама.

Исследования элементного химического состава подземных вод [137, 285], почв водосборных урболандшафтов [33, 47, 52, 62, 63, 103, 104, 105, 173, 291, 305], донных осадков [219] и вод малых рек [89], выполненные на территории г. Перми, дают только косвенные представления о химическом составе почв пойм. Информация об элементном химическом составе аллювиальных почв пойм малых рек г. Перми базируется до настоящего времени только на фрагментарных исследованиях [30, 48]. Элементный химический состав аллювиальных почв пойм на условно фоновых слабоурбанизированных ландшафтах в верхних течениях малых рек не изучен, что не позволяет оценить вклад антропогенной деятельности и геологических пород в загрязнение урбо-аллювиальных почв города. Экологические условия формирования элементного химического состава почв, состав минералов железа и конкреций почв пойм малых водотоков г. Перми практически не изучены. Особенности генезиса почв пойм малых рек г. Перми не охарактеризованы, их классификационное положение не установлено.

Материалы монографии включают исследования, проведенные авторами в период с 2006-2020 годы. В монографии применены методы геохимической оценки почв, разработанные В.А. Кузнецовым [163], М.А. Глазовской [79], Н.С. Касимовым [133, 135], В.Б. Ильиным [117], В.В. Добровольским [97], А.И. Перельманом [233], С.И. Колесниковым [149], М.С. Паниным [220], Е.Г. Язиковым [308], В.А. Алексеенко [3], Е.Г. Яниным [317], М. Fatёra [339]. Учтён опыт региональных геохимических исследований в Предуралье, основанный на работах М.А. Шишкина [305], И.С. Копылова [151, 152], Е.А. Ворончихиной [63], А.А. Васильева [30, 33], О.З. Еремченко [105], Е.А. Хайрулиной [291]. Анализ ОВ-состояния почв опирался на методологию И.П. Сердобольского [262], И.С. Кауричева [138, 139], Ф.Р. Зайдельмана [106, 110], В.И. Савича [252, 253, 254].

Авторы выражают благодарность за сотрудничество при подготовке материалов монографии д-ру с.-х. наук Ю.Н. Водяницкому, д-ру с.-х. наук А.Т. Савичеву, д-ру геол.-минерал. наук В.В. Коровушкину, д-ру. техн. наук Ю.Т. Платову, канд. физ.-мат. наук В.А. Цельмовичу, сотрудникам и студентам кафедры почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский ГАТУ».

# ГЛАВА 1. ПОЧВЫ ПОЙМ ГОРОДОВ И ИХ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

## 1.1 Источники и фазы-носители техногенных элементов в почвах пойм

В почвах пойм городских речных долин аллювиальный процесс осложняется урбопедоседиментогенезом. Урбопедоседиментогенез выражается в аккумуляции техногенных элементов (ТЭ) в почвах и других компонентах городских пойменных экосистем [246, 247]. Существенную роль в этом играют природно-техногенные частицы аллювия, обогащённые ТЭ [322]. В результате отложения в почвах пойм городских рек аллювия, насыщенного ТЭ, происходит трансформация естественных геохимических процессов [5, 26, 48, 91, 96, 125, 145, 159, 163, 246, 247, 276, 290, 308, 310, 316, 317, 318, 319, 337].

В почвы пойм городских рек ТЭ могут поступать гидрогенным, твёрдофазным и аэральным путём [5, 48, 329, 373]. Естественными источниками тяжёлых металлов и неметаллов служат минералы-носители коренных, почвообразующих пород и почв, слагающих речной водосбор, а также грунтовые воды [98, 99, 174, 202, 310, 314, 315, 317, 325]. Природные минералы-носители определяют фоновое региональное содержание химических элементов в почве [174]. В составе почвообразующих пород высокая концентрация тяжёлых металлов и неметаллов свойственна «тяжёлой фракции» грубообломочных минералов с плотностью более  $2,9 \text{ г/см}^3$ , а также глинистым минералам [96, 219, 280].

Площадными источниками ТЭ в городских поймах являются: промышленная, автотранспортная, уличная, сорбированная снегом и частицами почвы пыль, поступающая с водосборных пространств с поверхностным стоком, рассредото-

ченный твёрдый коммунальный мусор, зоны сельскохозяйственного использования. Точечно в реки городов часто сбрасываются сточные промышленные и коммунальные воды, загрязнённые ТЭ [117, 125, 158, 163, 203, 207, 212, 215, 305, 313, 314, 319, 325, 337, 373, 385].

Термодинамически неустойчивые техногенные частицы включаются в пойменное почвообразование, подвергаются изменениям под действием физико-химических и биологических процессов, разрушаются и высвобождают в почвенный раствор ионы ТЭ. Освободившиеся ионы ТЭ со временем трансформируются в более стабильные формы органоминеральных или минеральных фаз-носителей, встраиваются в компоненты почвенно-поглощающего комплекса или осаждаются в виде нерастворимых солей. Проявление буферной способности почв по отношению к ТЭ зависит как от свойств самих соединений, так и от процессов, протекающих в почвах. В результате этих процессов ТЭ временно замедляют движение в геологическом круговороте веществ, аккумулируются на геохимических барьерах почв пойм [82, 181, 185, 236, 258, 297, 361].

В почвах пойм формируется широкий спектр фаз-носителей ТЭ. Прежде всего они представлены рассеянными в мелководье окристаллизованными формами оксидов железа и марганца, аморфными гидроксидами железа и марганца, их полимолекулярными плёнками и оболочками на крупных зёрнах первичных минералов и высокодисперсных частицах; глинистыми минералами; гумусовыми веществами; карбонатами; сульфатами; сульфидами; фосфатами и силикатами [95, 131]. Локализованными фазами-носителями ТЭ в почвах пойм являются железомарганцевые новообразования [30, 41, 42, 43, 46, 48, 49, 50, 55, 80, 82, 109, 183, 337, 362].

Фазы-носители удерживают ТЭ в разных формах (обменных, специфически и химически сорбированных, окклюдированных). Глинистые минералы, карбонаты, оксиды и гуминовые соединения содержат ионообменные мобильные формы тяжёлых металлов и неметаллов, являющиеся источником и ближайшим резервом последних для растений. Прочнофиксированные формы тяжёлых металлов и неметаллов находятся в кристаллической решетке глинистых минералов, в оксидах железа, алюминия, коагелях их с кремниевой кислотой, в форме комплексных хелатных труднорастворимых соединений с гуминовыми веществами. Труднорастворимые формы тяжёлых металлов и неметаллов содержат оксиды, гидроксиды, соли. Изоморфные примеси металлов в кристаллической решётке первичных минералов, прочнофиксированные и труднорастворимые формы тяжёлых металлов и неметаллов в почвах являются потенциальным резервом для образования подвижных форм [185, 204, 337].

Между обменными и подвижными формами тяжёлых металлов и неметаллов в растворах существует тесная связь, и возможно взаимопревращение одних в другие [202]. В загрязнённых почвах экологическую опасность представляют подвижные соединения ТЭ. Потенциально подвижные ТЭ, связанные с оксидами Fe, также представляют угрозу, так как в случае изменения кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий они могут стать мобильными. В таком состоянии они рассматриваются как ближайший резерв в подпитке ионного потока ТЭ из почвы в воды рек [120, 131, 185, 186, 264, 331, 349, 355, 385, 388, 389]. Ю.А. Мажайский [182] отмечает, что доля подвижных форм может достигать 63 % от общего содержания. М. Jiang [351], оценивая загрязнение почв пойм обменными формами ТЭ, приводит шкалу риска: менее 1 % – отсутствует, от 1 до 10 % – низкий, 11-30 % – средний, 31-50 % – высокий и 51-100 % – очень высокий.

Аккумуляция и миграция ТЭ в почвах пойм обуславливается внешними и внутренними условиями. Внешние факторы определены биологической активностью почв и её физико-химическими свойствами, в первую очередь ОВ-состоянием, которое является результатом сочетания индивидуальных ОВ - свойств, процессов и режимов (водно-воздушного, окислительно-восстановительного, кислотно-щелочного, температурного), количественного и качественного содержания гумуса, химического, минералогического, гранулометрического составов твёрдой фазы почв, ёмкостью катионного обмена, буферностью; особенностями рельефа территории и сопряженностью с источниками техногенной эмиссии. Внутренние факторы связаны со свойствами атомов химических элементов и их соединений: реакционная способность, химическая форма, степень окисления, характер закрепления минеральными и органическими носителями [41, 139, 142, 157, 195, 196, 254, 280, 295, 325, 328, 337, 343, 349, 351, 356, 385, 388, 392].

Минералы железа выводят из биологического круговорота около 50 % ТЭ почвы [49, 55, 95, 117, 131, 169, 238, 240, 378, 385]. Сорбционные свойства (гидр)оксидов железа обусловлены дисперсностью, переменной валентностью железа ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ), рН зависимым зарядом [37]. В почве оксиды железа поглощают воду и превращаются в гидратированные оксиды или гидроксиды железа [214]. По сравнению с окристаллизованными частицами оксидов и гидроксидов Fe, аморфные гидроксиды железа (аморфная гидроокись железа, грин раст, ферригидрит, липидокрокит, гетит, ферроксицит) обладают наибольшей адсорбционной ёмкостью к ТЭ. Причём адсорбция ТЭ аморфными гидроксидами железа препятствует их кристаллизации [37, 39, 309, 385]. Однако главную роль в наиболее прочном закреплении ТЭ играют именно окристаллизованные частицы (гидр)оксидов Fe (магнетит, маггемит, гематит) [37]. Если нет поступления и образования новых аморфных

(гидр)оксидов железа, то сорбционные свойства старых (гидр)оксидов снижаются и дальнейшая сорбция прекращается [79, 82]. Так, в анаэробных условиях, при  $pH > 6$ , анионная часть соли хромовой кислоты проникает в межслоевое пространство минерала грин раст, или зеленая ржавчина. Здесь хромат анион восстанавливается и трансформирует грин раст из аморфного соединения в окристаллизованный хромогетит  $Cr-\alpha FeOОН$ . Подвижность хрома при этом резко снижается [390]. Минералы (гидр)оксидов Fe и Mn в почвах пойм фиксируют ТЭ и переводят их подвижные формы в неподвижные, формируя сорбционный геохимический барьер [185, 326, 354].

В нейтральных и слабощелочных гидроморфных почвах в осаждении ТЭ большую роль играют микроорганизмы, окисляющие  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  из почвенных растворов и минералов. Такими микроорганизмами являются бактерии, относящиеся к следующим родам: *Metallogenium*, *Leptothrix*, *Siderocapsa*, *Gallionella*, *Ciderococcus*, *Artrobacter*, некоторые цианобактерии, а также водоросли *Cyanophyceae*, *Chrysophyceae* [7, 39, 42, 78, 301]. При  $pH$  ниже 5 железо окисляется только при содействии ацидофильных железобактерий *Thiobacillus ferrooxidans* [78]. Механизм осаждения Mn – микробиологический. Химическое окисление марганца возможно только при  $pH > 9-10$ . Окисленные Fe и Mn, аккумулируясь на поверхностях клеток железобактерий, одновременно осаждают ТЭ (Zn, Ni, Cu). По завершении жизненного цикла железобактерий накопленные (гидр)оксидами железа и марганца ТЭ остаются в почвах [78].

Методом расширенного анализа тонкой структуры спектров поглощения (EXAFS) были идентифицированы следующие механизмы фиксации ТЭ (гидр)оксидами Fe и Mn [185, 328, 360, 361].

1. Кулоновское взаимодействие ионов ТЭ (гидратированных катионов  $Me^{n+} \cdot mH_2O$ , гидроксо- и других комплексов) с заряженной поверхностью (гидр)оксидов железа и марганца.

Металл полностью диссоциирован и удерживается в поверхностном диффузном слое за счет сил электростатического притяжения, сохраняя подвижность и способность перемещаться в объеме раствора вблизи поверхности [185, 393, 394].

2. Образование внешнесферных поверхностных комплексов. Минералы (гидр)оксидов Fe сорбируют ТЭ на рёбрах кристаллов и на дефектной поверхности решётки группами  $\text{OH}^-$  или  $\text{OH}_2$ , координируемыми только одним ионом  $\text{Fe}^{3+}$ . Между ТЭ и группами  $\text{OH}^-$  или  $\text{OH}_2$  образуются координационные связи, а ионы  $\text{H}^+$ , отщепляясь, подкисляют почвенный раствор [37, 41, 95, 185, 239].

Техногенные элементы, связанные с поверхностью первым и вторым способами, относятся к неспецифически сорбированным (обменным) катионам, которые могут быть вытеснены другими катионами [185].

3. Образование внутрисферных изолированных комплексов (специфическая сорбция с образованием прочных ковалентных связей). Слабые координационные связи облегчают диффузию ТЭ внутрь решётки гидроксидов железа. В структуре минералов железа ТЭ заполняют вакансии или замещают  $\text{Fe}^{3+}$  или  $\text{Fe}^{2+}$  и компенсируют дисбаланс заряда, образованный вследствие наличия дефектов [392]. Такого рода адсорбция может осуществляться даже на одноименно заряженной поверхности, вопреки возникающему кулоновскому отталкиванию. Поэтому (гидр)оксиды железа сорбируют ТЭ в гораздо большем объеме, чем величина ёмкости катионного обмена почвы. Внутрисферно сорбированные ТЭ закреплены сильнее, и их возврат в окружающую среду незначителен [37, 41, 95, 185].

Минералы железа за счёт поверхностного и внутрисферного механизма прочно закрепляют оксианионы – сидерофилы, фосфаты, сульфаты, хроматы и арсенаты [46, 49, 50, 53, 54, 94].

4. Гомогенное осаждение. На поверхности минерала-сорбента, без образования структурной связи с ним, образуется

гомогенный свежесосажденный плёнкообразный слой полимерных ионов ТЭ [361]. Оксиды и гидроксиды Fe образуют метастабильные плёнки лепидокрокита или маггемита, которые могут переходить в гематит [76, 86, 320]. Ионнообменные и координационно-активные центры гель-плёнок в почвах также являются активными фазами-носителями ТЭ [237, 239]. В почвах анаэробные микроорганизмы локализуются в том числе на поверхности минералов, покрытых железо-гидроксидными гель-плёнками. Сульфатвосстанавливающие бактерии экстрацеллюлярно связывают ионы Си и аккумулируют их в биоплёнках [41, 176, 177, 361]. В цикле дыхания анаэробы используют оксиды железа (III), гематит, маггемит и магнетит как акцепторы электронов. В результате железо (III) плёнок восстанавливается до Fe (II) и выносится вместе с сопряжёнными с ним ТЭ. Потенциально подвижные ТЭ из почв пойм при застойном режиме выносятся на порядок ниже, чем при застойно-промывном режиме увлажнения. Экссудаты жизнедеятельности анаэробов также подвергают аморфизации окристаллизованные формы железа (III). Накопление в почве Fe (II) подавляет рост анаэробных микроорганизмов, ингибируя тем самым биотрансформацию Fe-гель-плёнок [176, 177]. Эти условия способствуют гидратации, дезагрегации и диспергированию минеральной и органической частей почв. В то же время увеличение дисперсности почв при оглеении усиливает их сорбционную способность, что уменьшает подвижность Fe, Mn и других ТЭ [108, 254]. При последующем доступе кислорода Fe-гель-плёнки восстанавливаются и возвращают способность к сорбции ТЭ [177].

5. Образование многоядерных поверхностных комплексов. Сорбент действует как структурная подложка для вновь образующегося осадка. Присутствие минеральной поверхности уменьшает уровень перенасыщения, необходимого для

осаждения за счет сходства размеров двух решеток [369]. Затем катионы сорбата полимеризуются на субстрате.

6. Сорбированные поверхностью гидроксида ионы ТЭ с течением времени могут переходить в окклюдированное состояние [368]. Механизм окклюзии заключается в захвате гидроксидами Fe твердофазных оксидов ТЭ при осаждении. В результате соединения окклюдированного ТЭ оказывается внутри другой твердой фазы [185].

Также ТЭ закрепляются в необменной форме путём хемосорбции (преципитации) - осаждение в виде трудно растворимых соединений (карбонаты, фосфаты, силикаты и сульфиды и др.) [2, 142].

## **1.2 Техногенные элементы и окислительно-восстановительное состояние почв пойм**

Колебания уровня грунтовых вод в почвах пойм в периоды половодий и паводков определяют их контрастное ОВ-состояние [355, 385]. Интенсивность ОВ-процессов в почве характеризуется ОВ-потенциалом ( $E_H$ ), который является мерой доступности электронов и позволяет прогнозировать стабильность и доступность ТЭ в почвах пойм [337]. Источником электронов в почвах является углерод органического вещества. Корни растений и микроорганизмы ферментативно окисляют восстановленные формы углерода. Электроны, освобожденные при окислении углерода, сначала передаются молекулярному кислороду, который, в свою очередь, восстанавливается до воды. Следовательно, кислород действует как терминальный акцептор электронов. ОВ-состояние почвы, при котором кислород доступен, называется аэробным и характеризуется низкой активностью электронов. Кислород поступает в почву по порам, заполненным воздухом, за счёт диффузии. Когда поры почвы заняты водой, кислород проникает медленно и

в зависимости от метаболической активности почвы может быстро закончиться. ОВ-состояние почвы, при котором парциальное давление кислорода низкое или он отсутствует, называется анаэробным и характеризуется высокой доступностью электронов. И.О. Николаева [209] для разных ОВ-условий приводит следующие приоритетные акцепторы электронов: в окислительных условиях при  $E_H > 450$  мВ преобладает кислород. При слабо восстановительных условиях с  $E_H$  от 420 до 200 мВ, когда парциальное давление кислорода низкое, восстанавливаются азот N(V) нитратов и марганец Mn(III, IV) оксидов марганца. При умеренно восстановительных условиях с  $E_H$  от 200 до  $-100$  мВ восстанавливается железо Fe(III) оксидов железа. При интенсивно восстановительных условиях с  $E_H$  от 100 до  $-150$  мВ восстанавливаются сера S(VI) сульфатов, органическое вещество и диоксид углерода. Но на ОВ-реакции кроме указанных элементов влияют также и другие микроэлементы [337]. Также возможно дублирование электронных акцепторов [324]. Таким образом, ОВ-условия определяют степень окисления ТЭ, что влияет на их подвижность. В умеренно восстановительных условиях ТЭ, соосаждённые на (гидр)оксидах Fe, также будут растворяться и высвобождаться в почвенный раствор. При интенсивно восстановительных условиях осаждённые в виде сульфидов ТЭ теряют подвижность [401]. Косвенно от ОВ-условий зависят многие ТЭ.

На ОВ-процессы в почвах пойм, кроме режима влажности и наличия органического вещества, также влияют сезонные колебания температуры [65, 374, 385, 399]. В почвах многие ОВ - процессы катализируются микробами. Низкие температуры замедляют активность микробов [377]. Так, K.L. Vaughan [399] в двухлетнем опыте установил, что при температурах менее  $5^\circ$  С требуются более длительные периоды восстановительных условий для насыщения почвы ферригидритом. Согласно M.C. Rabenhorst [377], скорость редуционного растворения

ферригидрита с повышением температуры от 1 до 19° С возрастает от 0,5 до 52 %. Температуру почвы ниже 5° С М.С. Rabenhorst [377] определяет как «биологический ноль» для ОВ-процессов. G. Olivie-Lauquet [374] наблюдали, что в периоды с низким  $E_H$  и обильным содержанием растворенного органического углерода увеличение температуры почвы приводит к росту концентрации в почвенном растворе Fe, Mn и других ТЭ. Увеличение температуры активизирует почвенные микроорганизмы и процессы комплексообразования, поэтому концентрации растворённых ТЭ увеличиваются [385]. G. Olivie-Lauquet и другие [374] утверждают, что микробы в почвах определяют сезонное высвобождение ТЭ в почвенный раствор посредством катализирования акцептирования электронов полуторных оксидов. Кроме того, в почвах пойм периоды восстановления или окисления способствуют образованию кристаллических оксидов и процессам ремобилизации осажденных и специфически адсорбированных ТЭ [385].

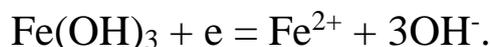
В почве ОВ-потенциал может снижаться даже при малом количестве воды, если температура и содержание органического вещества будут высоки. С другой стороны, в переувлажнённой почве при низкой температуре значения ОВ-потенциала будут положительные [385].

Поступление ТЭ с урбанизированных территорий в речные долины в количестве выше уровня регионального фона сопровождается нарушением экологических функций аллювиальных почв [325, 365] и приводит к трансформации ОВ-процессов в почвах пойм [69].

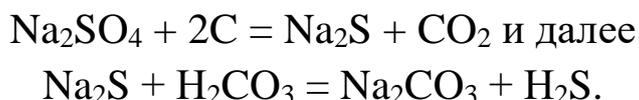
Для почв пойм типично снижение  $E_H$  с одновременным повышением рН [139, 199, 385, 399]. Это объясняется тем, что в восстановительных условиях процессы потребления протонов в реакциях с почвенными минералами преобладают [324, 337, 350]:



Повышение рН происходит также при насыщении почвы гидроксильными группами, активизированными восстановлением (гидр)оксидов железа и ТЭ до растворимой закисной формы [144]:



Реакция среды оглеенных горизонтов изменяется под влиянием десульфирования и карбонизации. Щелочность почвы повышается в результате образования карбонатов щелочей, что было подробно описано В.А. Ковдой [142]:



В условиях щелочной реакции среды значение  $E_H$  в гумусовых горизонтах почв снижается, так как кислород расходуется на окисление энзимов корней растений и микроорганизмов. Молекулярный кислород принимает четыре электрона и восстанавливается, взаимодействует с водородом или водой и образует воду или гидроксильную группу, повышающую рН. Температура почвы в интервале от 15 до 30° С; влажность в интервале 90 % полной влагоёмкости; наличие органического вещества; низкая насыщенность почвы кислородом – это факторы, которые способствуют подщелачиванию почвенного раствора [139].

С другой стороны, окислительные условия связаны с процессами выделения протонов [324], например,



Снижению значений рН почвы способствуют анаэробные условия. Так, рост влажности почвы на 10–15 % усиливает деятельность бактерий. В результате повышается парциальное давление  $\text{CO}_2$  почвенного воздуха, а рН падает. Разбавление почвенного раствора снижает активность ионов водорода, но при этом усиливается гидролиз труднорастворимых соединений и диссоциация соединений ППК, в том числе гумусовых веществ кислой природы, это также ведёт к подкислению [251].

Гидролитически кислые соединения металлов, поступающие в почву, выделяют протоны и снижают рН на 1,0–1,5 единицы [147, 148, 170, 171, 185, 236]. Формы соединений металлов по способности подкислять почву образуют следующий ряд: хлориды > сульфаты > ацетаты > нитраты > оксиды [148].

Техногенные элементы изменяют рН почвы вследствие стимуляции или угнетения жизнедеятельности микроорганизмов, метаболиты которых способны существенно влиять на кислотно-основные условия среды [148, 185].

*Подвижность ТЭ в почве* определяется их зарядом [2, 204].

*Катионогенные* элементы (Pb, Cr<sup>3+</sup>, Cu, Ni, Sr, Ti, Zr) при повышении кислотности почвы (рН менее 6) и окислительных условиях приобретают подвижность. Происходит их транслокация в растения и вынос в грунтовые и речные воды [2, 66, 163, 204, 210, 211]. Нейтральная и щелочная обстановка и окислительные условия в почвах ограничивают миграцию катионогенных элементов, так как они образуют слаборастворимые карбонаты и бикарбонаты. Подвижность катионогенных элементов в восстановительной обстановке оглеенных горизонтов почв разнообразная и зависит от значений рН, содержания органических кислот, поведения соединений железа и других факторов [2, 66, 185, 350].

*Анионогенные* элементы (Zn, Cr<sup>6+</sup>, As<sup>+3</sup>, As<sup>+5</sup>) активно мигрируют в окислительных условиях в нейтральной и щелочной среде [2, 46, 66, 120, 142, 163, 212, 236]. В кислой среде мышьяк также увеличивает концентрацию в почвенном растворе [17].

*Амфотерные ионы* (Fe, Mn, Al) в кислой, нейтральной и щелочной среде мобильны и поглощают ТЭ. В кислой среде гидроксиды Fe сорбируют анионы (Mo, Cr, V). Нейтральная реакция среды благоприятна для сорбции катионов (Cu, Ni, Pb) [233]. В широком диапазоне величин рН подвижны Rb и S.

Таким образом, ОВ-условия (E<sub>H</sub>), реакция среды (рН) и

температура почв влияют на подвижность химических элементов с переменной валентностью [2, 142, 168, 263, 337, 356, 385, 389]. Процессы перераспределения ТЭ в почвах пойм являются сложными и взаимосвязанными. Под влиянием динамики  $E_H$  ТЭ частично аккумулируются на геохимических барьерах. Изменяемые ОВ-условия в почвах пойм могут увеличивать долю подвижных форм ТЭ и способствовать их миграции в почвенно-грунтовые и речные воды. Подвижность ТЭ в почвах увеличивается при снижении рН, так как происходит растворение карбонатов и сорбированных соединений. В восстановительных условиях оксиды Fe и Mn разрушаются и высвобождают соосаждённые ионы ТЭ. Изменение  $E_H$  может привести к активизации микроорганизмов в процессах разложения органических соединений и трансформации Fe-Mn оксидов. Изучение и оценка ОВ-состояния почв пойм промышленно-урбанизированных районов позволяет прогнозировать трансформацию, миграцию и аккумуляцию ТЭ [254, 331, 337, 351, 355, 385]. Информация о подвижности ТЭ и преобразовании их фаз-носителей имеет важное значение для проведения эколого-геохимической оценки загрязнённых почв [164, 254, 385].

### **1.3 Оценка эколого-геохимического состояния почв пойм**

В экосистемах городов почвы являются центральным звеном концентрации ТЭ, что ведёт к формированию техногенных геохимических аномалий. По мнению Н.С. Касимова [133], выявление и оценка геохимических аномалий, анализ их влияния на функционирование селитебных ландшафтов, а также на окружающие город территории и акватории – основная цель эколого-геохимического анализа состояния среды городов.

Эколого-геохимическое состояние почв – это система показателей содержания, внутрипрофильного и пространственного распределения, а также взаимосвязи концентрации ТЭ

[33, 165, 166, 263]. Показатели эколого-геохимического состояния позволяют выявить факторы и условия, влияющие на поведение ТЭ [263, 282], и определить уровень антропогенного давления на почвы пойм [26, 90, 145, 154, 246, 373].

Эколого-геохимическую оценку почв урбанизированных территорий проводят путём нормирования содержания ТЭ относительно кларков для почв по А.П. Виноградову [35], регионального и местного фона, предельно допустимых концентраций (ПДК) или ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) [2, 8, 167, 168, 181, 194, 256, 307, 308]. Накопление ТЭ также устанавливают с помощью коэффициента обогащения EF [353, 365, 373].

Использование *кларков* [20, 35] при оценке загрязнения почв – широко распространенный метод. Использование кларков для оценки загрязнения городских почв имеет ряд ограничений. Так, на территории городов имеются выходы коренных пород разного генезиса и формируются специфические техногенные грунты, что оказывает существенное влияние на подсчет среднего содержания химических элементов в почвах. При этом возможны значительные отклонения от значений кларков. Сравнение с кларками даёт информацию только о региональных особенностях концентрирования или рассеивания химических элементов. Превышение региональных концентраций элементов над кларковыми не всегда отражает антропогенное вмешательство. Поэтому многие почвоведы и геохимики рекомендуют использовать для оценки химического загрязнения почв фоновое содержание элементов, основанное на местных геохимических данных для исследуемой территории [133, 373].

*Фоновая концентрация химического элемента* в почве – это такая его концентрация, сравнение с которой позволяет выявить превышение концентрации химического элемента под влиянием антропогенного загрязнения [61, 121, 292]. Фоновая концентрация химического элемента необходима для расчёта контрастности техногенных аномалий в городской среде [133].

Для определения фоновой концентрации химических элементов используют естественные природные территории, удаленные от источников загрязнения на 50–100 км. Ландшафтно-геохимические условия населённого пункта и фоновой территории должны быть аналогичными [2]. Для предотвращения систематических ошибок данные о местном фоне необходимо получать на чистых территориях, где почвы генетически близки к загрязненным [373]. Оценка загрязнения путем сравнения с фоновыми концентрациями не всегда четко регламентирована. Так, некоторые авторы считают, что концентрации веществ считаются токсичными, если они превышают фоновое содержание в 5, 10 и более раз [8]. Существует и другая проблема использования фоновых значений концентраций. В промышленно развитых странах, а также на территории промышленных городов достоверная информация о фоновой концентрации химических элементов не всегда имеется, поскольку все естественные экосистемы трансформированы человеком. Все это затрудняет объективную эколого-геохимическую оценку почвенного покрова [194, 296, 361].

Для пойм рек на техногенно нагруженных территориях условно фоновые концентрации определяют на участках, расположенных выше по течению от источников загрязнения [134]. Такой подход более приоритетный, так как учитывает геологическое строение региона, региональные концентрации химических элементов.

*Оценка загрязнения по ПДК и ОДК.* Один из авторитетных исследователей тяжёлых металлов в почвах городов, В.Б. Ильин, ещё в 1992 году отмечал, что перечень ТЭ, для которых утверждены на законодательном уровне ПДК, очень мал [118]. При отсутствии ПДК по ТЭ в почвах рекомендуется принимать их удвоенное региональное фоновое содержание [193]. Многие исследователи [16, 118, 120, 121, 136, 213, 279, 293] обращают внимание на то, что разработанные нормативы

для некоторых ТЭ оказались в логическом несоответствии с их фоновым содержанием в почвах. Так, в местах биогеохимических провинций с высоким естественным содержанием элементов ПДК не позволяет реально оценить загрязнение территории. На такие ПДК невозможно ориентироваться, так как они в ряде конкретных ситуаций не могут свидетельствовать о химической деградации почв. Л.В. Левшаков [175] справедливо указывает, что из-за множества почвенно-экологических факторов, влияющих на поведение ТЭ, единых ПДК для различных регионов России быть не может. По мнению Л.В. Левшакова [175], существующие нормативы ПДК не отражают в достаточной степени экологического состояния многих почв.

В 1995 году в России приняты ОДК для общего содержания Cu, Ni, Pb, Zn, Cd и As в разных условиях почв [2, 234].

В.И. Кирюшиным [140] отмечено, что недостатком экологической оценки почв по ПДК является отсутствие возможности учитывать суммарное негативное действие нескольких элементов, присутствующих в субкритических концентрациях.

Многие исследователи [118, 155, 164, 168, 185, 275, 298] для оценки полиэлементного загрязнения почв используют нормативно утверждённый суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), разработанный Ю.Е. Саеом [205, 255, 256]. Показатель загрязнения  $Z_c$  рассчитывается на основе суммирования коэффициентов концентрации ( $K_c$ ) элементов. Но, по мнению В.Б. Ильина [118], В.И. Титовой [282], В.П. Учватова [286], Ю.Н. Водяницкого [46], С.С. Манджиевой [185] и др., суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  недостаточно методически и теоретически обоснован и не всегда отражает реальную экологическую ситуацию. В связи с этим при оценке полиэлементного загрязнения почв суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  предлагается модифицировать. Например, предлагается использовать поправки на степень токсичности элементов [46,

118, 185, 282, 286]. Широкого распространения модифицированные показатели  $Z_c$  пока не нашли. На законодательном уровне они пока не утверждены.

Полиэлементные геохимические аномалии в структуре почвенного покрова конкретных городов характеризуются определённым набором техногенных химических элементов. Состав ТЭ, накопленных почвой за всё время воздействия миграционного потока от одного или нескольких источников техногенного воздействия, называют техногенной геохимической ассоциацией [163, 250, 255, 267, 317].

А.И. Сысо [280], G. Du Laing [337], M. Jiang [351] считают, что оценка загрязнённости почв по валовому содержанию химических элементов не позволяет определить их подвижность, способность переходить в растения и природные воды. Более информативны показатели подвижности химических элементов [265]. С.С. Манджиева [185] указывает, что в научной литературе имеются данные по различным формам химических элементов в почвах, но отсутствуют методы сопоставления этих результатов, оценки их информативности и оценочные показатели. По мнению С.С. Манджиевой [185], существует необходимость расширения перечня показателей нормирования ТЭ для оценки загрязнения ими почв.

**Диагностика загрязнения почв по величине магнитной восприимчивости.** В России и за рубежом для косвенной оценки степени загрязнения ТЭ почв водосборных территорий [27, 33, 77, 143], а также наилков и почв пойм широко используется метод измерения величины магнитной восприимчивости [329, 333; 336, 339, 342, 352, 373, 404]. Установлено, что носителями ТЭ в городских почвах Предуралья являются техногенные ферромагнитные частицы, часто сферической формы [31, 143]. В Уральском регионе техногенные магнитные сферулы встречаются в составе аллювиальных осадков

рек: Миасс (в зоне влияния г. Челябинска), Урал (г. Магнитогорск), Тагил (г. Нижний Тагил), Исеть (г. Екатеринбург), Чусовая (г. Чусовой), Косьва (г. Губаха) и малых рек на территории г. Перми [126, 189, 190, 191, 219]. Пойменный аллювий обычно обогащён естественными магнитными минералами железа и поэтому обладает высокой магнитной восприимчивостью [13, 100]. Ультрадисперсный магнетит в почвах пойм также образуют бактерии: Fe-редуцирующие (*Geobacter metalloreducens*) и магнитотактические [359], последние встречаются почти во всех классах группы протеобактерий (*Proteobacteria*) и *Nitrospirae*. Со временем мелкий биогенный магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) при окислении преобразуется в маггемит ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Некоторая часть зёрен биогенного магнетита может сформировать поверхностные маггемитизированные покрытия, которые будут защищать магнетитовую сердцевину от растворения [359]. На территории городов поступление техногенного магнетита/маггемита в почвы пойм резко увеличивает естественный магнитный сигнал почв [336]. Следует отличать техногенную и естественную природу магнитной восприимчивости [329].

В профилях почв пойм магнитная восприимчивость снижается от гумусовых к подповерхностным глеевым горизонтам, так как в анаэробных условиях сильномагнитные минералы железа (магнетит, маггемит) трансформируются в слабомагнитные (гематит, гетит) [13, 37, 45, 161, 336, 339, 352]. Определяющую роль в разрушении магнитных частиц играют бактерии рода *Bacillus* и *Clostridium* [13, 23, 261]. При разрушении магнитных минералов ТЭ, изоморфно замещающие железо, могут высвободиться и оказывать негативное воздействие на эколого-геохимическое состояние почв пойм [190, 191]. В кислой среде техногенный магнетит разрушается быстрее [37].

На магнитную восприимчивость заметно влияет гранулометрический состав. Так, лёгкие почвы имеют повышенные

значения магнитной восприимчивости, что объясняется меньшим содержанием в них органического вещества, необходимого для развития гетеротрофной микрофлоры. Кроме того, в крупных зёрнах песка магнитные минералы находятся в виде вкраплений. Инертный силикатный материал песчинок, как капсула, защищает их от биохимических воздействий. В тяжёлых почвах мелкие магнитные частицы магнетита не имеют защитной силикатной оболочки и быстро разрушаются почвенными микроорганизмами [1, 13, 347, 359, 404]. Размер частиц техногенного магнетита соответствует крупным фракциям мелкозёма почв [1, 358, 404].

Таким образом, при проведении эколого-геохимической оценки почвенного покрова городов используются разные критерии оценки загрязнения почв ТЭ. Некоторые критерии, утверждённые на законодательном уровне, подвергаются обоснованной критике, имеют ряд недостатков.

**Эколого-геохимическая оценка состояния почв пойм.** Почвенный покров крупных городов России и мира подвергается загрязнению ТЭ [213, 308, 321]. Загрязнение почв водосборных урболандшафтов прямо отражается на эколого-геохимическом состоянии почв пойм [350; 353]. Проблема загрязнения ТЭ почв пойм свойственна для многих регионов России. Так, в Башкирском Зауралье горнодобывающая и металлургическая промышленность обуславливает медно-цинковый тип загрязнения аллювиальных почв региона. В почвах поймы р. Таналык, ниже города Баймак, концентрации Cu и Zn снижаются при удалении от русла, что, по мнению исследователей, доказывает их гидрогенное поступление в пойменные экосистемы [278]. Ниже посёлка Бурибай, после сброса стоков горнообогатительного комбината, в почвах поймы р. Таналык общая концентрация Zn в 1,2 раза превышает ОДК (ОДК Zn = 55 мг/кг). Подвижные формы Zn и Cu, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером (ААБ с pH 4,8), составляют 50 и 79 %

от их валового количества, а также превышают ПДК в 1,4 и 1,9 раз соответственно [5]. В почвах поймы р. Карагайлы, ниже сброса сточных вод очистных сооружений ООО «Водосбыт», концентрация подвижной формы меди в 1,6 раз выше ПДК и составляет почти 63 % от валового содержания. Ниже посёлка Калинино, после впадения в русло реки стоков города Сибай, в почвах поймы р. Худолаз общая концентрация Zn превышает ОДК в 1,5 раза. Подвижные формы (ААБ с рН 4,8) Zn и Cu составляют 72 и 54 % от валового содержания, концентрация превышает ПДК в 2,5 и 1,4 раза соответственно [5]. Гидротехнические работы по очистке русла реки Карагайлы на отрезке от очистных сооружений до пос. Калинино привели к разрушению геохимических барьеров. Произошло вторичное загрязнение почв поймы. Кларк концентрации валового содержания ТЭ после 2015 г., по отношению к более раннему периоду, увеличился и составил: Zn 4,6 > Cu 4,5 > Cd 3,3 > Fe 1,8. Концентрация подвижных форм также повысилась: Cu 23,8 > Zn 16,9 > Fe 4,9 > Cd 1,8. Уровень загрязнения почв значительно превосходит значения ПДК. Поток рассеяния ТЭ в воде реки Худолаз распространился до реки Урал, т.е. на расстояние более 25 км [216].

Элементный химический состав почв поймы р. Борзовка на территории г. Нижний Новгород характеризует их как техногенную геохимическую аномалию. Содержание подвижных форм Pb в почве составляет 351 мг/кг, Ni – 375, Cr – 77, Cu – 853 и Zn – 2143 мг/кг, что многократно превышает ПДК. Загрязнение почв поймы на этой территории города оценивается как «чрезвычайно опасное», суммарный показатель Zс равен 806 единицам. Почвы поймы р. Левинка в Нижнем Новгороде также отличаются аномально высоким содержанием подвижных форм (ААБ с рН 4,8) Pb – 162, Ni – 33, Cr – 32 и Zn – 510 мг/кг. Суммарное загрязнение почв оценивается как «опасное», Zс составляет 60 единиц [264].

В городе Кирово-Чепецк Кировской области Кирово-Чепецкий химический комбинат загрязняет ТЭ аллювиальные дерновые оглеенные суглинистые почвы поймы нижнего течения реки Елховка. Общая концентрация Pb, Zn, Ni и Mn составила 44; 250; 100 и 5500 мг/кг соответственно, а содержание подвижных форм (ААБ с рН 4,8) Zn, Ni и Mn достигало 70; 4,2 и 1000 мг/кг соответственно [12].

В городе Челябинск промышленные и энергетические объекты загрязняют легкосуглинистые и супесчаные аллювиальные почвы поймы реки Миасс. Среднее содержание общего As в почвах поймы составляет 29,8 мг/кг, минимальное 22,7 и максимальное 35,4 мг/кг. В суглинистых и супесчаных урбо-аллювиальных почвах поймы содержание общего As выше ОДК (10 и 2 мг/кг) соответственно в 2,8-3,3 и 17,7 раз. Средняя концентрация валового Zn составила 504 мг/кг, минимальная 144 мг/кг и максимальная 926 мг/кг. Содержание валового Zn в суглинистой почве выше ОДК (220 мг/кг) в 4,2 раза, а в супесчаной (ОДК = 55 мг/кг) выше в 11,7 раз. Средние, минимальные и максимальные концентрации для валовых Ni и Pb составили 63; 54; 79 мг/кг и 67; 28; 124 мг/кг соответственно. В супесчаной урбо-аллювиальной почве валовые концентрации общих Ni и Pb также существенно превышали ОДК (20; 32 мг/кг) в 3,0 и 3,9 раз соответственно [67].

На Дальнем Востоке в городе Биробиджан промышленность и автотранспорт загрязняют свинцом и цинком дерново-аллювиальные почвы поймы реки Бира. Общая концентрация Pb достигает 60 мг/кг, а Zn более 110 мг/кг [127, 128]. В г. Благовещенск аллювиальные серогумусовые почвы поймы р. Зея также загрязнены Pb и Zn. Причиной загрязнения являются выбросы и сбросы предприятий топливно-энергетического комплекса. Содержание подвижных форм (ААБ с рН 4,8) Pb выше ПДК в 5,7 раз, а Zn в 2,0 раза [164].

В городах на юго-западе России – Ростов-на-Дону, Новочеркасск, Азов и Батайск – промышленные предприятия ОАО «ОГК-2», Новочеркасская ГРЭС оказывают техногенное воздействие на почвы пойм устьевой области р. Дон и его притоков. Валовое содержание Mn в почвах пойм превышает ПДК в 1,3 раза, Cu в 1,1 раза, Zn в 2,0 раза и As в 5,8 раза. Исследователи также обращают внимание на повышенную фоновую концентрацию Zn, Pb, As в почвах пойм региона. Подвижные формы (ААБ с рН 4,8) цинка в почвах пойм бассейна р. Дон превышают значение ПДК до 1,6 раза [196].

В городе Соликамск Пермского края воздействие сточных вод предприятий Первое Соликамское калийное рудоуправление и ОАО «Соликамский магниевый завод» привело к существенному загрязнению пойменного аллювия в нижнем течении реки Чёрная. В зоне влияния сброса сточных вод коэффициенты превышения условного геохимического фона образуют ряд: Ag 9 Sr 8 Ni 5 Mn 4 Cu 3 (As,Cr) 2. Пойменный аллювий р. Чёрная является долговременным источником загрязнения вод реки Кама в пределах Камского водохранилища [192].

Проблема загрязнения почв пойм ТЭ актуальна не только для России, но и на территории разных стран мира.

На территории Злинского района в Чехии почвы пойм рек Bratřejovka, Lutonínka, Dřevnice и Morava загрязнены Ni, Zn и Cr. Техногенные элементы поступают в почвы из городских, промышленных и сельскохозяйственных источников загрязнения. Общее содержание Ni, Zn и Cr в почвах пойм превышает установленные для Чехии предельные концентрации: 50, 120 и 90 мг/кг соответственно. Максимальные концентрации Ni, Zn и Cr достигают в верхних слоях почв значения 77, 159 и 208 мг/кг, а в подповерхностных – 87, 137 и 241 мг/кг соответственно [325].

В Польше урбанизация и индустриализация привели к загрязнению почв поймы р. Верхняя Одра. В аллювиальных почвах общие максимальные концентрации Ni достигают

60 мг/кг; Cr – 81; Cu – 129; Pb – 242 и Zn – 1006 мг/кг. При этом допустимые концентрации в мг/кг следующие: Ni – 35; Cr – 50; Cu – 30; Pb – 50 и Zn – 100 [349]. На территории городско-сельских гмин (волостей) Кржижановице (Krzyzanowice) и Гжегожовице (Grzegorzowice) в нижней части профилей почв поймы реки Верхняя Одра максимальное валовое содержание Pb и Zn превышает геохимический фон для песчаных почв Польши в несколько десятков раз [330].

В дельте р. Нижний Рейн, Нидерланды, в почвах низких пойм рек Nederrijn, Lek, IJssel и Waal (Недеррийн, Лек, Эйссель и Ваал) максимальные валовые концентрации достигают: Cu – 130, Pb – 490 и Zn – 1450 мг/кг [371].

В Великобритании аллювиальные почвы рек Трент (Trent) и Дав (Dove) загрязнены под влиянием урбанизации, выбросов промышленных предприятий, сброса сточных вод, добычи полезных ископаемых и производства энергии. Общие концентрации Pb в почвах достигают 1300 мг/кг, а Zn – 2000 [350].

В Германии почвы поймы малой реки Шпиттельвассер (Spittelwasser) близ города Йесниц (Jesnitz) загрязнены Cu, As и Zn под действием шахтных вод. Коэффициенты превышения фона для почв поймы составляют: Pb 8,9; Cr 7,1; Cu 4,3; As 3,4 и Zn 1,8 единиц. В почве поймы максимальные концентрации Pb (489), Zn (435), Cr (353), Cu (143) и Ni (31 мг/кг) выше нормативных значений в 12,2; 7,3; 5,9; 3,6 и 2,1 раза соответственно. Содержание As (143 мг/кг) в почве поймы р. Шпиттельвассер превышает значение установленного норматива для зон отдыха и парков в 1,1 раза, а для лугопастбищных угодий в 2,9 раза. Мышьяк будет проблемой для пастбищ, но не для пахотных угодий, где предельное нормативное значение равно 200 мг/кг. Следовательно, вторичным источником загрязнения ТЭ аллювиальных почв пойм рек Мульде и Эльба могут являться почвы поймы их притока – реки Шпиттельвассер [386].

Почвы поймы реки Эльба (Elbe) на территории земли Саксония-Анхальт в Германии загрязнены Zn, Cu и Pb. Источники загрязнения – предприятия по добыче руды, сброс в реку промышленных и коммунальных вод. Максимальные концентрации Zn, Cu и Pb в почвах поймы составляли 1,44; 0,2; 0,39 г/кг, что превышает законодательно установленные предельные уровни 0,25; 0,10 и 0,20 г/кг соответственно [334]. Похожие данные для почв поймы реки Эльба в данном районе приводит Overesch [375]. В окрестностях городов Вёрлиц (Wörlitz), Штекби (Steckby), Рогец (Rogatz) и Зандау (Sandau) в почвах поймы р. Эльба максимальные общие концентрации (мг/кг) Cr 214, Ni 79, Pb 342 и Zn 1532 превышали предупредительные значения. Общие концентрации (мг/кг) Cu 286 и As 70-143 в Eutric Gleysols были выше критических значений для почв пастбищ (для Cu 200 и для As 50). Доля доступных растениям металлов (экстрагируемых  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) от общего содержания снижается в порядке:  $\text{Zn} > \text{Ni} \gg \text{Pb}, \text{Cu}$ . Высокая доступность растениям (%)  $\text{Zn} > 18$ ,  $\text{Ni} > 15$  и  $\text{Pb} > 3$  обнаружена только в горизонтах почв поймы реки Эльба при значениях pH ниже 5,0. В целом доступность токсичных металлов в почвах поймы была низкая, так как средние значения pH были относительно высокими. Фитодоступность As и Cr не обнаружена [375].

В Сирии почвы поймы реки Оронт (Orontes) около города Хама (Hama) и в окрестностях целого ряда других населенных пунктов загрязнены Cu, Pb и Zn. Валовое содержание Cu в почве поймы около населенных пунктов Аль-Дахерия и Генан-Эль-Аси достигает 127 мг/кг, что выше допустимого предела, принятого для Германии – 40,0 и США – 75,0 мг/кг. В почвах низкой поймы около Аль-Дахерия, Срейхин и Хаттаб общая концентрация Pb составляла 95 мг/кг, что превышало допустимый предел для почв Германии – 40,0 и США – 15,0 мг/кг. Общая концентрация Zn колебалась от 13 до 760 мг/кг (допустимый предел для почв Германии – 150,0 и США – 140,0 мг/кг) [348].

В Китае в провинции Хунань (Hunan) промышленные и бытовые сточные воды городов Чанша (Changsha) и Чжучжоу (Zhuzhou) загрязняют почвы поймы реки Сяванганг (Xiawangang). В почвах общие концентрации (мг/кг) Cu достигли 920,5, Pb 5146,3 и Zn 14105,5 что превышает в 2,3, 10,3 и 28,2 раза соответственно китайский стандарт качества окружающей среды для почв 3 класса (Cu 400; Pb и Zn 500 мг/кг) [351].

Таким образом, концентрация ТЭ в почвах пойм урбанизированных территорий и состав техногенных элементов-загрязнителей зависят от вида антропогенной деятельности и геологических условий местности. Нормативы допустимых концентраций ТЭ в почвах разных стран существенно отличаются.

#### **1.4 Экологическая характеристика территории водосборных бассейнов малых рек г. Перми**

На отрезке от г. Перми до г. Чайковский р. Кама представляет собой Воткинское водохранилище. На территории г. Перми в водохранилище впадают воды около 100 малых рек [89]. Химический состав речных вод характеризует степень техногенной нагрузки на водосборный бассейн, а также влияет на геохимическое состояние почв пойм [92, 163].

*Бассейн реки Ива* граничит с бассейнами рек Егошиха и Мотовилиха. Длина р. Ива составляет 10,5 км, площадь водосбора 25,4 км<sup>2</sup>. Река Ива принимает три притока: в верхнем течении – р. Малая Ива и р. Большая Ива и в среднем – р. Таложанка и один ручей 3-го Поваренного лога. Верховья бассейна р. Ива на 30 % от площади водосбора покрыты лесом. В среднем течении русло р. Ива заилено, мощность донных отложений составляет 0,5 м.

Со среднего течения и до устья долина р. Ива пересекает жилищно-промышленные кварталы г. Перми, пересекая Мо-

товилихинский и Свердловский районы. На этом отрезке водоохранная зона реки занята садоводческими и гаражными кооперативами, часто застроена, встречаются локальные бытовые свалки. В реку сбрасываются без очистки промышленные, хозяйственно-бытовые и ливневые сточные воды. Дорожно-транспортное загрязнение оказывает влияние на элементный химический состав речных вод. В истоке р. Большая Ива находится НПО «Биомед». В месте слияния рек Большая Ива и Малая Ива расположена ТЭЦ-5.

Воды р. Ива на всём протяжении загрязнены Cu и Mn, в верховьях выявлено загрязнение фосфатами. В водах нижнего течения р. Ива концентрация Mn превышает ПДК в 22 раза, Al в 11,3 раза, Cu в 9 раз, Fe общее в 8,7 раза, Zn в 7,1 раза, Sr в 2,2 раза, Pb в 1,3 раза. Концентрация фосфатов и сульфатов в 1,6 раза выше ПДК. Содержание хрома и никеля повышенное, но значения ПДК не превышает. Вода р. Ива по химическому составу в истоке отвечает классу II (чистая), в нижнем течении оценивается как IV класс, разряд «в» (очень грязная) и не соответствует нормам водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбо-хозяйственного назначения [89, 150, 223, 271, 274].

*Бассейн реки Егошиха* полностью расположен на территории города и граничит с бассейнами рек Данилиха и Ива. Длина р. Егошиха равна 9,5 км, а площадь водосбора – 22,8 км<sup>2</sup>. Река с левого берега принимает притоки: в верхнем течении р. Чумка, а в нижнем течении р. Стикс. Верховья бассейна р. Егошиха заняты лесом на 20 %, расположены на территории Свердловского района и примыкают к микрорайонам Липовая Гора и Владимирский.

В пойме р. Егошиха расположены садово-огородные участки жителей города. В среднем течении река протекает рядом с городским Южным кладбищем и около Егошихинского (старого) кладбища. Основными загрязнителями реки явля-

ются транспортные магистрали. В реку из сетей городской канализации ООО «Новогор-Прикамье» сбрасываются аварийные стоки. В водоохранной зоне реки встречаются свалки бытового мусора.

В воде нижнего течения р. Егошиха концентрация Mn превышает ПДК в 27 раз, Al в 16 раз, Cu в 11 раз, Fe общего в 8,9 раз, Zn в 2,2 раза, Sr в 1,9 раз, Pb и Ni в 1,2 раза, фосфатов в 3,7 раза, сульфатов в 1,7 раза, но концентрация Cr ниже ПДК. Содержание нефтепродуктов в водах реки превышает ПДК до 14 раз, содержание кислорода ниже нормы. Вода р. Егошиха подвергается самой жёсткой техногенной нагрузке и оценивается V классом (экстремально грязная) и, таким образом, не соответствует нормам водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбо-хозяйственного назначения [89, 150, 222, 271, 274].

*Бассейн реки Данилиха* граничит с бассейнами рек Верхняя Мулянка и Егошиха и протекает в центральной части города. Площадь водосбора р. Данилиха равна 30,4 км<sup>2</sup>. Длина реки до ввода в коллектор 9,4 км, до устья 11,0 км. Исток реки находится в южной части Свердловского района около железнодорожной станции Бахаревка. В нижнем течении река принимает три притока, заключенных в коллекторы: р. Горюшка, р. Светлушка и ручей Пермьянка.

Воды р. Данилиха загрязняют сбросы ОАО ПАО «ИНКАР», АО «Пермские моторы», ОАО «Гипсополимер», хладокомбинат «Созвездие», сети городской канализации ООО «Новогор-Прикамье», ливневые сточные воды. В водоохранной зоне реки размещены садово-огородные участки, находятся свалки мусора.

Вода р. Данилиха в истоке имеет неудовлетворительный кислородный режим и загрязнена фосфатами и медью. В устьевом створе р. Данилихи концентрация Mn в воде выше ПДК в 20,0 раз, Fe общего в 6,6 раза, Al и Zn в 5,5 раза, Cu в 12,0 раз, Ni в 3,0 раза, Sr в 2,1 раза, фосфатов в 13,0 раз, сульфатов в 1,2 раза, нефтепродуктов в 6,0 раз. Содержание хрома и

свинца в воде выше фоновых значений, но ПДК не превышает. Качество речной воды соответствует IV классу, разряд «Г» - очень грязная [89, 150, 224, 245, 271, 274].

*Исток р. Верхняя Мулянка* находится в Пермском районе, восточнее деревень Ключики и Ольховка, вблизи посёлка Звёздный. В нижнем течении река протекает по западной окраине города Пермь. Длина р. Верхняя Мулянка составляет 52 км, а длина её притоков: р. Мось – 22 км, р. Пыж – 16 км.

На территории Пермского района воды р. Верхняя Мулянка загрязняются сбросами животноводческих ферм. На территории г. Перми в реку попадают загрязняющие вещества от предприятий: ООО: «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»; ЗАО «Сибур-Химпром»; ОАО «Минеральные удобрения»; ООО «Пеноплекс-Пермь»; Пермская ТЭЦ-9; ООО «Пермнефтегазпереработка».

В воде р. Верхняя Мулянка концентрация Cr превышает ПДК в 3,9 раза, Zn в 1,7 раза, Al в 8,0 раза. Воды р. Верхняя Мулянка устойчиво загрязнены Fe общим, Mn, Cu, Sr, сульфатами, фосфатами, нефтепродуктами. Качество воды в нижнем течении р. Верхняя Мулянка оценивается как очень загрязнённая (III класс, разряд «б») [89, 150, 225, 271, 274, 291].

*Река Ласьва* является правым притоком р. Кама. Исток р. Ласьва находится в Ильинском районе, южнее нежилого поселения Кленовский. Устье реки расположено между г. Краснокамск и посёлком Крымский (м/р г. Перми). Длина реки составляет 78 км, длина её залива в устье 18 км. Рельеф водосбора холмистый, площадью 481 км<sup>2</sup>. В реку впадает 58 притоков длиной менее 10 км. Крупными притоками являются: слева р. Перемка длиной 17 км, а справа р. Чёрная длиной 11 км. Залесённость бассейна 67 %, заболоченность 30 % [226, 235].

Влияние деятельности человека отмечено по всей длине р. Ласьва. В реку сбрасываются промышленные стоки Завода горно-шахтного машиностроения, НПО «Галоген», Оверят-

ского ЖБК, НПО «Сорбент», ТЭЦ-5 г. Краснокамск, животноводческого комплекса «Майский». Данные по качеству воды в реке Ласьва в открытых источниках информации не приводятся [150, 226, 235].

По данным А.К. Лаптевой [173] и М.А. Шишкина [305], в верхнем слое почв на водосборной территории р. Ласьва концентрация Cr, Pb, Cu, Mn, Zr, Ti, Ni, Zn, Y выше кларка, что объясняется особенностями химического состава почвообразующих пород в бассейне реки.

Таким образом, водоохраные зоны изученных малых рек г. Перми частично застроены, заняты садово-огородными участками и локальными свалками бытового мусора. Поймы малых рек соседствуют с автотрассами и железнодорожными путями. В реки сбрасываются промышленные, хозяйственно-бытовые и ливневые сточные воды, загрязненные ТЭ в форме сульфатов, органических комплексов, техногенных частиц: магнетитовых сферул, техногенной пыли, пластмассы, резины, стекла, шлака. Самоочищение вод рек ограничено малой водностью и низкой разбавляемостью [89, 126, 219].

*Эколого-геохимическое состояние почв водораздельных территорий г. Перми неудовлетворительное.* Содержание ТЭ в поверхностных горизонтах урбопочв и техногенных поверхностных образований (ТПО) г. Перми изучено Е.А. Ворончиной [62, 63], О.З. Еремченко [103, 104, 105], Ю.Н. Водяницким [47, 52], М.А. Шишкиным [305], А.А. Васильевым [33], Е.А. Хайрулиной [291]. Ими установлено, что в урбопочвах и ТПО содержание Pb и Cu выше ПДК в 6, Zn в 5, Ni до 3 раз.

Загрязнение ТЭ поверхностных вод и почв водоразделов негативно отражается на валовом химическом составе донных отложений малых рек г. Перми. В составе донных отложений рек г. Перми сформировались геохимические ассоциации, в состав которых входят Fe, P, Mn, Pb, Cu, Zn. Общая техногенная ассо-

циация ТЭ представлена Mn, Cr, Ni, Zn, Cu. Основными загрязнителями донных отложений рек, выявленных по превышению кларков для осадочных пород по Виноградову, являются Zn, Pb, Cu, Ni, Sn, V, P. Специфика локальных источников загрязнения отражается в содержании химических элементов в донных осадках малых рек Данилиха, Егошиха и Ива. Максимальную нагрузку испытывает донный аллювий р. Данилиха, в нём наиболее разнообразная техногенная геохимическая ассоциация элементов - загрязнителей, представленная P, Cu, Zn, Pb [178, 219]. Природные минералы-носители в составе техногенно-аллювиальных отложений рек г. Перми выявлены для Cr – хромшпинелид и Ti - ильменит, рутил, лейкоксен, титаномагнетит [219].

Таким образом, антропогенные источники элементного химического загрязнения почв пойм малых рек г. Перми разнообразны. Городские аллювиальные почвы образуются при сложном сочетании природных процессов почвообразования с мощным антропогенным воздействием. Почвы пойм городских рек испытывают комплексное воздействие промышленного производства, коммунального хозяйства и транспорта. Загрязнение ТЭ почв пойм городских рек носит комплексный характер и определяется специализацией производственной деятельности на территории городов. В странах мира нормативы загрязнения почв пойм существенно отличаются. Фазы-носители ТЭ в почвах пойм разнообразны. Они являются потенциальными источниками вторичного загрязнения речных вод. ОВ-условия и кислотно-щелочная среда определяют нахождение в почве разных по растворимости и подвижности форм ТЭ: труднорастворимые, обменные, подвижные, находящиеся в динамическом равновесии в почвенном растворе. Перечисленные формы ТЭ тесно связаны между собой и могут взаимопревращаться друг в друга. Оценка эколого-геохимического состояния почв городских аллювиальных почв должна учитывать нормативы, законодательно утвержденные в России, и фоновые концентрации ТЭ.

## **ГЛАВА 2. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ, МИГРАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ПОЙМ**

Исследовали почвы низких пойм малых рек г. Перми, испытывающих разную степень антропогенной нагрузки. Согласно Генеральному плану г. Перми [70], территории пойм относятся к функциональной зоне нежилого назначения – рекреационных и специальных объектов ТСП-Р. Поймы граничат с функциональными зонами: жилой застройки СТН – Б, В, Г, Ж, И; нежилого назначения ТСП – П, ПТ, ОД, Р, ЭП, СХ; стабилизации жилой застройки ТСП-Ж. В почвах пойм городских рек степень развития урбопедоседиментогенеза зависит от функционального использования городской территории, по которой протекает река [246, 247]. В работе использовано следующее зонирование территории города: поймы рек Ива, Егошиха, Данилиха, Верхняя Мулянка отнесены к промышленно-коммунальной зоне, а пойма р. Ласьва к агропоселковой зоне.

Почвы пойм средних и нижних течений рек Ива, Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка на территории промышленно-коммунальной зоны города были вскрыты 17 разрезами, соответственно – 80-84, 90-94, 100-104, 110-111 (рисунок 1; приложение 1). Почвы пойм средних и нижних течений рек Егошиха и Данилиха испытывают наиболее сильное антропогенное воздействие, так как сформировались в центре промышленно-коммунальной зоны города. Почвы пойм нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка сформировались на восточной и западной перифериях промышленно-коммунальной зоны.

Почвы поймы нижнего течения р. Ласьва вскрыты 5 разрезами 120-124 в пределах агропоселковой зоны периферии города.

На южной окраине промышленно-коммунальной зоны

города были заложены разрезы 95 и 105 в поймах верхних течений рек Егошиха и Данилиха соответственно (рисунок 1).

За условный местный фон принята аллювиальная серогумусовая глееватая среднесуглинистая почва (разрез 85), сформировавшаяся в пойме верхнего течения р. Малая Ива – правого притока р. Ива, на территории функциональной зоны г. Перми – «земли сельскохозяйственного назначения ТСП – СХ».

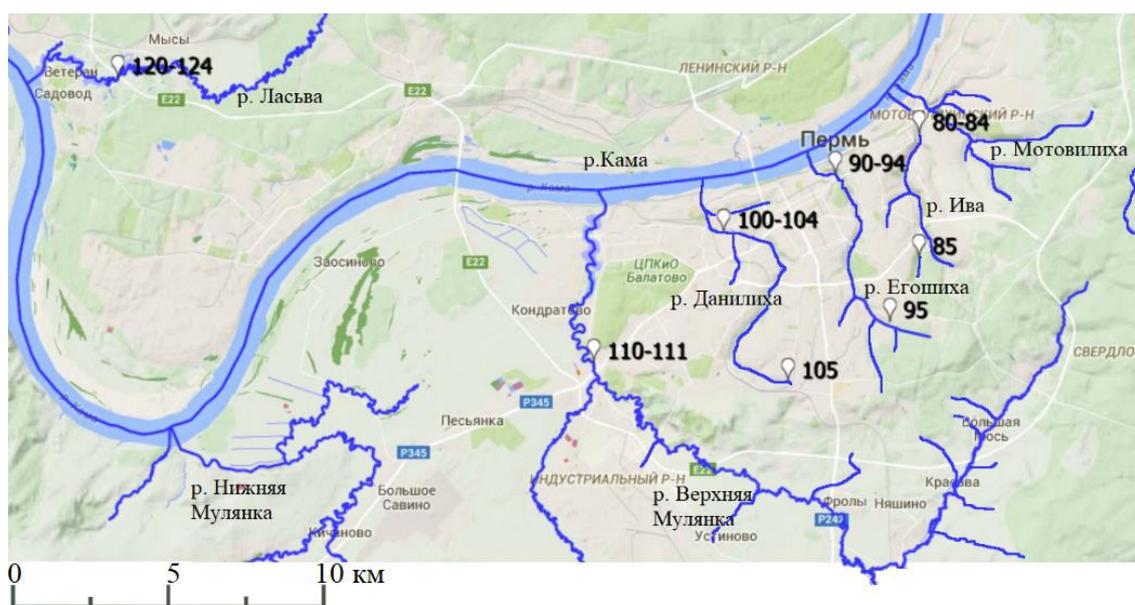


Рисунок 1. Схема закладки разрезов почв в поймах малых рек г. Перми.

Реки Ива, Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка являются левобережными притоками р. Кама в пределах Воткинского водохранилища, а река Ласьва правобережным притоком (рисунок 1).

В поймах нижнего течения каждой реки заложены один ключевой и четыре аналоговых разреза. Разрезы почв закладывали на расстоянии 3-5 метров от уреза воды и через 250 метров друг от друга.

Приведём описание местоположения ключевых разрезов почв, к которым были привязаны площадки для режимных наблюдений.

**Разрез 80.** Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая,

среднесуглинистая, химически слабозагрязнённая Zn, Cu, Cr и S почва [141]. Разрез заложен на правом берегу поймы нижнего течения р. Ива в 120 м выше по течению от мостового перехода через р. Ива по улице Речка Ива в Мотовилихинском районе. Координаты местоположения разреза – 58°01'50,51" с.ш., 56°18'54,09" в.д., абсолютная высота 105 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Ива – р. Егошиха составляет 155 м.

**Разрез 90.** Хемозём среднезагрязнённый Cr и S по урбоаллювиальной серогумусовой глеевой, супесчаной почве [141]. Разрез заложен на левом берегу поймы нижнего течения р. Егошиха в 250 м ниже по течению от мостового перехода «Северная дамба» через р. Егошиха в Ленинском районе. Координаты местоположения разреза – 58°01'06,20" с.ш., 56°16'04,25" в.д., абсолютная высота 116 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Егошиха – р. Данилиха составляет 162 м.

**Разрез 100.** Хемозём среднезагрязнённый Cr и S по урбоаллювиальной серогумусовой глеевой, среднесуглинистой почве [141]. Разрез заложен на левом берегу поймы нижнего течения р. Данилиха в 200 м ниже по течению от мостового перехода через р. Данилиха по улице Плеханова в Дзержинском районе и на расстоянии 250 метров выше по течению от входа реки в коллектор. Координаты местоположения разреза – 58°00'03,98" с.ш., 56°12'15,39" в.д., абсолютная высота – 104 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Данилиха - р. Верхняя Мулянка составляет 125 м.

**Разрез 110.** Хемозём среднезагрязнённый Cr и S по урбоаллювиальной серогумусовой глеевой, среднесуглинистой почве [141]. Разрез заложен на правом берегу поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка в 290 м ниже по течению от автомобильного моста через р. Верхняя Мулянка по ул. Шоссе Космонавтов в створе улицы 1-я Юннатская. Координаты ме-

стоположения разреза –  $57^{\circ}57'42,00''$  с.ш.,  $56^{\circ}07'50,06''$  в.д., абсолютная высота – 96 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Верхняя Мулянка – р. Нижняя Мулянка составляет 160 м.

**Разрез 120.** Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая химически слабозагрязнённая As и малозагрязнённая S почва [141]. Разрез заложен на левом берегу поймы р. Ласьва в 90 метрах ниже по течению от автомобильного моста через р. Ласьва на краснокамском отрезке автодороги федерального значения Казань – Пермь. Координаты местоположения разреза –  $58^{\circ}02'51,25''$  с.ш.,  $55^{\circ}51'41,89''$  в.д., абсолютная высота 91 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Ласьва – р. Кама составляет 97 метров.

Местоположение разрезов, аналоговых ключевым, в поймах рек Ива (№№ 81-84), Егошиха (№№ 91-94), Данилиха (№№ 101-104), Верхняя Мулянка (№ 111) и Ласьва (№№ 121-124) показано на рисунке 1.

**Разрез 85.** Аллювиальная серогумусовая глееватая среднесуглинистая почва [141]. Разрез заложен на правом берегу поймы верхнего течения реки Малой Ивы (приток р. Ивы) в створе ул. Лисичанской. Координаты местоположения разреза –  $57^{\circ}59'35,68''$  с.ш. и  $56^{\circ}18'52,98''$  в.д., абсолютная высота 140 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Малая Ива – р. Егошиха составляет 170 м.

**Разрез 95.** Хемозём среднезагрязнённый S по аллювиальной серогумусовой глееватой легкосуглинистой почве [141]. Разрез заложен в левобережной прирусловой пойме верхнего течения реки Егошиха в створе улицы Самаркандской. Координаты местоположения разреза –  $57^{\circ}58'26,13''$  с.ш. и  $56^{\circ}17'53,77''$  в.д., абсолютная высота 153 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Егошиха – р. Данилиха составляет 230 м.

*Разрез 105.* Хемозём среднезагрязнённый S по аллювиальной серогумусовой глееватой тяжелосуглинистой почве [141]. Разрез заложен в левобережной прирусловой пойме верхнего течения р. Данилиха в 200 метрах выше по течению от мостового переезда через р. Данилиха по улице Куйбышева. Координаты местоположения разреза – 57°57'20,64" с.ш. и 56°14'25,70" в.д., абсолютная высота 167 м, при этом максимальная высота на водоразделе р. Данилиха – р. Верхняя Мулянка составляет 173 м.

Всего в поймах малых рек Ива, Егошиха, Данилиха, Верхняя Мулянка и Ласьва заложено 25 почвенных разрезов. Из всех профилей почв отобрано 57 образцов генетических горизонтов. С поверхности всех почв снято 23 образца наилок. Из 11 горизонтов почв в поймах рек выделены образцы роренштейнов.

Влияние геогенного фактора на эколого-геохимическое состояние почв пойм оценено по результатам определения валового химического состава почв, почвообразующих и коренных пород на водосборных бассейнах рек. Почвы и почвообразующие породы водораздела верхних течений рек Егошиха и Данилиха имеют повышенное фоновое содержание Ni и Cu [51].

В долине реки Егошиха исследованы коренные породы шешминской свиты одноимённого горизонта уфимского яруса пермской системы (приложение 2, таблицы 1, 2). Для коренных пород геохимическая ассоциация средних значений коэффициентов превышения элементами кларков ( $K_K$ ) следующая:



В полевых условиях в период понижения уровня грунтовых вод изучены морфологические свойства профилей почв и

отобраны образцы по генетическим горизонтам в соответствии с рекомендациями по полевой диагностики почв [141, 242]. Отбор свежих наилок проведен после окончания весеннего паводка.

В условиях гидрогенного загрязнения оценка условий эволюции техногенных химических элементов в профиле аллювиальных почв позволяет обосновать параметры критериев их геохимической оценки. Комплексная оценка условий трансформации, миграции и аккумуляции химических элементов в аллювиальных почвах включала следующие характеристики: морфологические свойства, гранулометрический состав, физико-химические свойства, физические свойства, окислительно-восстановительные условия, которые характеризуют параметры режимов влажности, окислительно-восстановительного потенциала ( $E_H$ ), реакции среды (pH), rH, температуры.

## 2.1 Морфологические свойства

Морфологические свойства профилей почв пойм в верхнем течении рек свидетельствуют о контрастных ОВ-процессах, что проявляется в наличии признаков оглеения: стальных оттенков, охристо-бурых примазок, потёков и пятен. В почвах пойм в нижнем течении рек неоднородные ОВ-условия в верхней части профиля приводят к оглеению, а анаэробные условия в нижней части к формированию самостоятельных глеевых горизонтов. Глеевые горизонты  $G_{\sim}$  на фоне грязно-сизой и сизой окраски имеют охристые примазки, потёки и пятна. Микролокальность ОВ-условий проявляется в формировании трубчатых новообразований – роренштейнов [157, 183]. Урбопедогенез в почвах пойм нижних течений рек способствует накоплению в поверхностных горизонтах антропогенных включений (фрагменты пластика, стекла, металлов и других предметов).

### *Почвы пойм нижних течений малых рек*

**Разрез 80.** Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая, среднесуглинистая химически слабозагрязнённая почва на современных природно-техногенных аллювиальных отложениях (рисунок 2). Глубина разреза составила 70 см – до уровня грунтовых вод. Ассоциация травянистых растений злаково-разнотравно-осоковая: осока острая *Carex acuta* L.; осока лисья *Carex vulpina* L.; хвощ приречный *Equisetum fluviatile* L.; гравилат речной *Geum rivale* L.; ежа сборная *Dactylis glomerata* L.; мятлик луговой *Poa pratensis* L.; крапива двудомная *Urtica dioica* L.; сабельник болотный *Comarum palustre* L. Древесная растительность: ива ломкая *Salix fragilis* L.; ива козья *Salix caprea* L.; берёза плакучая *Betula pendula* Roth; тополь дрожащий *Populus tremula* L.; черёмуха обыкновенная *Padus avium* Mill.; ольха серая *Alnus incana* (L.) Moench; клён ясенелистный *Acer negundo* L. Площадь проективного покрытия составила 95 %.

AУg,ur,x 0-15 см. Влажный, буровато-серый со стальным оттенком и охристо-бурыми пятнами и примазками, среднесуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, единичные фрагменты пластика и стекла размером до 2 см, единичные роренштейны, густо пронизан корнями трав и кустарников, переход резкий по цвету, структуре и плотности, граница перехода волнистая.

G<sup>~</sup>,X 15-30 см. Сырой, голубовато-сизый с охристыми прожилками, легкосуглинистый, бесструктурный, уплотнён, мало корней, переход ясный по цвету, структуре и плотности, граница перехода ровная, с глубины 24 см из стенки разреза сочится вода.

C1g<sup>~</sup>,X 30-70 см. Мокрый, грязно-серый, легкосуглинистый, бесструктурный, плотный, с глубины 32 см из стенок разреза сочится вода.



Рисунок 2. Строение профилей почв пойм нижних течений малых рек: Ива, Егошиха, Данилиха, Верхняя Мулянка и Ласьва г. Перми.

**Разрез 90.** Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой, супесчаной почве на современных природно-техногенных аллювиальных отложениях (рисунок 2). Глубина разреза составила 50 см, до выхода грунтовых вод. Ассоциация травянистой растительности разнотравно-осоковая: осока острая *Carex acuta* L.; таволга вязолистная *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s. l.; камыш лесной *Scirpus sylvaticus* L.; хвощ приречный *Equisetum fluviatile* L.; гравилат речной *Geum rivale* L.; крапива двудомная *Urtica dioica* L.; сабельник болотный *Comarum palustre* L.; мать-и-мачеха обыкновенная *Tussilago farfara* L. Среди древесных пород встречаются: ива козья *Salix caprea* L., ива ломкая *Salix fragilis* L., вишня кустарниковая *Cerasus fruticosa* Pall., малина обыкновенная *Rubus idaeus* L., берёза плакучая *Betula pendula* Roth; тополь дрожащий *Populus tremula* L.; клён ясенелистный *Acer negundo* L. Площадь проективного покрытия 90 %.

AУg,ur,X 0-15 см. Влажный, буровато-серый со стальным оттенком, охристыми потёками и сизыми примазками, супесчаный, комковато-порошистый, рыхлый, единичные фрагменты пластика, стекла и металла размером до 2 см, густо пронизан корнями трав и кустарников, переход в следующий горизонт волнистый, ясный, заметный по окраске, структуре и плотности.

G<sup>~</sup>,X 15-30 см. Сырой, голубовато-сизый с охристо-бурыми прожилками, супесчаный, бесструктурный, уплотнён, встречается галька, единичные роренштейны, корней много, переход ясный, волнистый, заметный по окраске, структуре и плотности, с глубины 17 см из стенок разреза сочится вода.

C1g<sup>~</sup>,X 30-50 см. Мокрый, грязно-серый, среднесуглинистый, бесструктурный, плотный, встречается галька, с глубины 34 см из стенок разреза интенсивно сочится вода.

**Разрез 100.** Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой, среднесуглинистой почве на современных природно-техногенных аллювиальных отложениях (рисунок 2). Глубина разреза составила 70 см. Ассоциация травянистой растительности бобово-злаково-разнотравная: крапива двудомная *Urtica dioica* L.; чертополох курчавый *Carduus crispus* L.; ежа сборная *Dactylis glomerata* L.; клевер средний *Trifolium medium* L.; подорожник большой *Plantago major* L. Среди древесных пород встречаются: ива козья *Salix caprea* L., ива остролистная *Salix acutifolia* Willd; тополь дрожащий *Populus tremula* L.; клён ясенелистный *Acer negundo* L. Площадь проективного покрытия 70%.

AУg,ur,X 0-22 см. Влажный, буровато-серый со стальным оттенком, охристыми потёками и примазки, среднесуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, единичные фрагменты пластика, стекла и металла размером до 2 см, единичные роренштейны, густо пронизан корнями трав и кустарников, переход в следующий горизонт резкий, затёчный, заметный по окраске, структуре и плотности.

G<sup>~</sup>,X 22-70 см. Мокрый, тёмно-сизый с ярко-охристыми прожилками, легкосуглинистый, бесструктурный, уплотнён, единичные корни, с глубины 63 см из стенок разреза сочится вода.

**Разрез 110.** Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой среднесуглинистой почве на

современных природно-техногенных аллювиальных отложениях (рисунок 2). Глубина разреза 80 см. Ассоциация травянистой растительности злаково-разнотравная: ежа сборная *Dactylis glomerata* L.; мятлик луговой *Poa pratensis* L.; пижма обыкновенная *Tanacetum vulgare* L.; чертополох курчавый *Carduus crispus* L.; крапива двудомная *Urtica dioica* L. Состав древесных пород: ива остролистная *Salix acutifolia* Willd; тополь дрожащий *Populus tremula* L.; клён ясенелистный *Acer negundo* L. Площадь проективного покрытия 95 %.

AУg,ur,X 0-20 см. Влажный, серо-бурый со стальным оттенком и охристыми пятнами, среднесуглинистый, комковато-ореховатый, рыхлый, червоточины, единичные фрагменты пластика, стекла и металла размером до 2 см., единичные ро-ренштейны, густо пронизан корнями, переход резкий и ровный заметный по цвету и структуре.

C1g~,X 20-40 см. Сырой, буровато-серый с охристыми пятнами и примазками, легкосуглинистый, комковатый, уплотнён, корней мало, переход в глеевый горизонт постепенный, размытый, заметный по цвету и структуре.

G~,X 40-80 см. Мокрый, голубовато-сизый, среднесуглинистый, бесструктурный, плотный, остатки растительного происхождения, с 64 см из стенки разреза сочится вода.

**Разрез 120.** Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая химически малозагрязнённая почва на современном природно-техногенном аллювии (рисунок 2). Глубина разреза - 100 см. Ассоциация травянистой растительности разнотравно-злаковая: ежа сборная *Dactylis glomerata* L.; мятлик луговой *Poa pratensis* L.; пижма обыкновенная *Tanacetum vulgare* L.; крапива двудомная *Urtica dioica* L.; чертополох курчавый *Carduus crispus* L. Среди кустарников присутствует роза иглистая *Rosa acicularis* Lindl; малина обыкновенная

*Rubus idaeus* L; ольха чёрная *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Древесные породы: ива остролистная *Salix acutifolia* Willd; тополь дрожащий *Populus tremula* L.; клён ясенелистный *Acer negundo* L. Площадь проективного покрытия 90 %.

AУg,ur,x 0-10 см. Влажный, буровато-серый со стальным оттенком, охристыми примазками и потёками, легкоглинистый, комковато-ореховатый, рыхлый, червоточины, единичные фрагменты пластика, древесного угля и металла размером до 2 сантиметров, единичные роренштейны, густая сеть корней, переход постепенный, размытый, заметный по цвету, структуре и плотности.

C1g~,X 10-30 см. Сырой, охристо-бурый с ярко-охристыми и серовато-сизыми пятнами, примазками и потёками, легкоглинистый, крупнокомковатый, уплотнён, единично роренштейны, много корней, переход постепенный, размытый, заметный по структуре.

C2g,h~,X 30-50 см. Сырой, бурый с серовато-сизыми пятнами, примазками и ярко-охристыми потёками, среднесуглинистый, бесструктурный, плотный, единично роренштейны, в низу горизонта торфяная прослойка, корней мало, переход постепенный, размытый, заметный по гранулометрическому составу.

C3g~,x 50-80 см. Мокрый, охристо-бурый с пятнами, примазками и потёками ярко-охристого и сизого цвета, супесчаный, бесструктурный, плотный, единично роренштейны, редкие корни, переход постепенный, размытый, заметный по гранулометрическому составу, с глубины 65 см из стенок разреза сочится вода.

C4g~,x 80-100 см. Мокрый, бурый с сизыми пятнами, примазками и ярко-охристыми потёками, легкосуглинистый, бесструктурный, плотный, единично роренштейны, подпёрт грунтовыми водами.

### *Почвы пойм верхних течений малых рек*

**Разрез 85.** Аллювиальная серогумусовая глееватая, среднесуглинистая почва на современных аллювиальных отложениях (рисунок 3). Глубина разреза составила 65 см. Ассоциация травянистой растительности разнотравно-осоковая: осока острая *Carex acuta* L.; осока дернистая *Carex cespitosa* L.; хвощ приречный *Equisetum fluviatile* L.; гравилат речной *Geum rivale* L.; ежа сборная *Dactylis glomerata* L.; костер безостый *Bromus inermis* Leyss.; лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L.; клевер ползучий *Trifolium repens* L.; крапива двудомная *Urtica dioica* L. Древесно-кустарниковая растительность: ива козья *Salix caprea* L.; берёза плакучая *Betula pendula* Roth; клён ясенелистный *Acer negundo* L.; ель обыкновенная *Picea abies* (L.) Karst. Площадь проективного покрытия 95 %.

АУg,х 0-15 см. Влажный, буровато-серый со стальным оттенком и ярко-охристыми пятнами, среднесуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, густо пронизан корнями, переход кармановидный, резкий, выражен по окраске, структуре и плотности.

С1g<sup>~</sup>,х 15-65 см. Мокрый, грязно-голубовато-серый с охристыми пятнами, примазками и прожилками, легкосуглинистый, бесструктурный, уплотнён, присутствует галька, корней мало, с глубины 25 см из стенок разреза сочится вода.



Рисунок 3. Строение профилей почв пойм верхних течений малых рек: Малая Ива, Егошиха, Данилиха г. Перми.

**Разрез 95.** Хемозём среднезагрязнённый по аллювиальной серогумусовой глееватой, легкосуглинистой почве на современном аллювии (рисунок 3). Глубина разреза 65 см. Травянистая ассоциация злаково-разнотравно-осоковая: осока острая *Carex acuta* L.; осока дернистая *Carex cespitosa* L.; камыш лесной *Scirpus sylvaticus* L.; гравилат речной *Geum rivale* L.; хвощ приречный *Equisetum fluviatile* L.; костер безостый *Bromus inermis* Leys.; манжетка обыкновенная *Alchemilla vulgaris* L. s. l.; крапива двудомная *Urtica dioica* L. Древесные породы: ива козья *Salix caprea* L., ива ломкая *Salix fragilis* L., берёза плакучая *Betula pendula* Roth; клён ясенелистный *Acer negundo* L.; ель обыкновенная *Picea abies* (L.) Karst., рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., липа крупнолистная *Tilia platyphyllos* Scop. Площадь проективного покрытия 95 %.

АУg,Х 0-15 см. Влажный, буровато-серый с охристыми примазками, легкосуглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, густо пронизан корнями, переход постепенный, размытый по окраске, структуре и плотности.

С1g~,х 15-70 см. Мокрый, грязно-голубовато-сизый, с охристыми потёками и пятнами, супесчаный, бесструктурный, уплотнён, корней мало, с глубины 55 см из стенок разреза сочится вода.

**Разрез 105.** Хемозём среднезагрязнённый по аллювиальной серогумусовой глееватой, тяжелосуглинистой почве на современном аллювии (рисунок 3). Глубина разреза 70 см. Травянистая ассоциация разнотравно-осоковая: осока острая *Carex acuta* L.; осока дернистая *Carex cespitosa* L.; гравилат речной *Geum rivale* L.; хвощ приречный *Equisetum fluviatile* L.; костер безостый *Bromus inermis* Leys.; манжетка обыкновенная *Alchemilla vulgaris* L. s. l.; лютик едкий *Ranunculus acris* L.; крапива двудомная *Urtica dioica* L. Древесные породы: ива козья *Salix caprea* L., ива ломкая *Salix fragilis* L., ива остролистная *Salix acutifolia* Willd; клён ясенелистный *Acer negundo* L.;

тополь дрожащий *Populus tremula* L. Площадь проективного покрытия 90 %.

AУg,Х 0-15 см. Влажный, буровато-серый со стальным оттенком и охристыми потёками и пятнами, тяжелосуглинистый, комковато-ореховатый, рыхлый, густая сеть корней, переход в нижележащий слой аллювия резкий по структуре и окраске.

C1g<sup>~</sup>,Х 15-70 см. Мокрый, буровато-сизый, с ржавыми потёками, легкосуглинистый, бесструктурный, уплотнён, корней мало, с глубины 42 см из стенок разреза сочится вода.

### ***Морфологические особенности роренштейнов***

Из отдельных горизонтов почв пойм нижних течений малых рек роренштейны выделены методом отмывки по методике Ф.Р. Зайдельмана [109]. Больше всего роренштейнов размером более 1,0 мм образовалось в почве поймы р. Ласва, где в горизонте C1g<sup>~</sup>,Х их количество составляет 2,6 % от массы почвы (таблица 1, рисунок 4). Меньше всего роренштейнов образовалось в почве поймы р. Ива – 0,04 % от массы почвы. В почвах пойм рек Данилиха, Верхняя Мулянка и Егошиха количество роренштейнов в верхних горизонтах составило, 0,3, 0,3 и 0,8 % от массы почвы соответственно.

В почве поймы р. Ива роренштейны имеют светло-коричневую окраску, гладкую поверхность, малые размеры – диаметр 1,0 мм и длину 3,0 мм. Хемозём поймы р. Егошиха содержит гладкие охристо-рыжие роренштейны диаметром 1,5 мм и длиной 10,0 мм. В хемозёме поймы р. Данилиха сформировались светло-бурые роренштейны с диаметром 1,5 мм и длиной 15,0 мм с шероховатой поверхностью. В урбо-аллювиальной почве поймы р. Ласва содержатся роренштейны буровато-охристого цвета диаметром от 1,5 до 2,0 мм и длиной от 5,0 до 10,0 мм (рисунок 4).

Таблица 1

Морфометрия и содержание роренштейнов размером более 1,0 мм в почвах пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	Содержание и размер роренштейнов		
	% от массы почвы	Диаметр, мм	Длина, мм
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически слабозагрязнённая почва, пойма реки Ива			
AУg,ur,x, 0-15	0,04	1,0	3,0
Разрез 90. Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Егошиха			
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	0,8	1,5	10,0
Разрез 100. Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Данилихи			
AУg,ur,X, 0-22	0,3	1,5	15,0
Разрез 110. Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Верхняя Мулянка			
AУg,ur,X, 0-20	0,2	3,0	5,0
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	0,3	3,0	5,0
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	0,05	4,0	5,0
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически малозагрязнённая почва, пойма реки Ласьва			
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	2,6	2,0	10,0
C2g,h <sup>~</sup> ,X,30-50	2,5	1,5	7,0
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	1,3	1,5	5,0
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	0,5	1,5	5,0

А



В

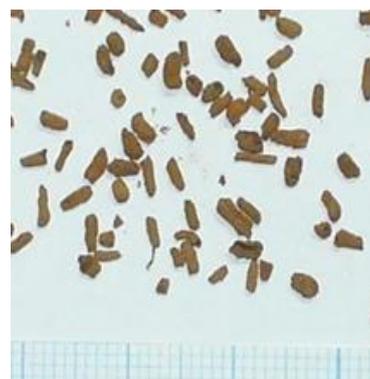


Рисунок 4. Роренштейны почв пойм малых рек. А) горизонт АУg,ur,X (0-22 см) хемозёма среднезагрязнённого по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве (разрез 100), пойма р. Данилиха; В) слой C2g,h,X (30-50 см) урбо-аллювиальной серогумусовой глееватой химически малозагрязнённой почвы (разрез 120), пойма р. Ласьва.

## **2.2 Гранулометрический состав, общие физические свойства, почвенно-гидрологические константы и физико-химические свойства почв**

В лабораторных условиях гранулометрический состав, физические и физико-химические свойства почв определены по общепринятым методикам [6, 24]. Обработка результатов исследований выполнена с помощью стандартных статистических методов [93] в пакетах StatSoft STATISTICA 10.

*Гранулометрический состав почв пойм.* Содержание и распределение гранулометрических фракций по горизонтам влияет на физико-химические и водно-физические свойства почв, характер ОВ-процессов, определяющих подвижность и доступность химических элементов с переменной валентностью в почвенном профиле [83]. Концентрации многих химических элементов в фоновых почвах пойм обычно возрастают от грубых к более тонким фракциям [162, 172, 180]. В связи с чем рассмотрим особенности распределения фракций в профиле изучаемых почв.

Гранулометрический состав почв пойм верхних течений рек Малая Ива, Егошиха и Данилиха соответственно средне-, легко- и тяжелосуглинистый песчанисто-крупнопылеватый или крупнопылевато-песчанистый (таблица 2).

Фракции мелкого песка преобладают в почве поймы р. Егошиха – 37–49 %, а крупной пыли в почвах пойм рек Ива и Данилиха – 34–41 %. Формирование гранулометрического состава аллювия происходит в результате переотложения в поймах механических элементов из разных источников: донных отложений, продуктов выветривания пород пермской геологической системы и четвертичных отложений, залегающих непосредственно на коренных породах, зональных почв.

Таблица 2

## Гранулометрический состав почв пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	содержание фракций (мм), %						
	1-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01
<b>верхнее течение</b>							
Разрез 85. Серогумусовая глееватая среднесуглинистая песчано-крупнопылеватая почва, пойма реки Малая Ива							
AYg,x, 0-15	3,2	26,0	35,0	8,5	10,1	17,2	35,8
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-30	15,6	34,0	21,0	5,7	8,0	15,7	29,4
Разрез 95. Серогумусовая глееватая легкосуглинистая крупнопылевато-песчаная почва, пойма реки Егошиха							
AYg,X, 0-15	7,4	37,1	27,1	4,7	6,9	16,8	28,4
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-30	3,4	48,5	21,7	4,8	5,1	16,5	26,4
Разрез 105. Серогумусовая глееватая тяжелосуглинистая песчано-крупнопылеватая почва, пойма реки Данилиха							
AYg,X, 0-10	0,8	19,2	34,3	9,1	11,3	25,3	45,7
C1g <sup>~</sup> ,x 10-30	1,1	12,6	41,1	9,9	14,1	21,2	45,2
<b>нижнее течение</b>							
Разрез 80. Серогумусовая глеевая среднесуглинистая песчано-крупнопылеватая почва, пойма реки Ива							
AYg,ur,x, 0-15	0,4	27,8	33,7	7,3	9,3	21,6	38,2
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	7,4	45,1	22,1	4,2	6,1	15,0	25,3
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-70	6,0	49,7	19,2	4,1	6,0	15,1	25,2
Разрез 90. Серогумусовая глеевая супесчаная крупно-песчаная почва, пойма реки Егошиха							
AYg,ur,X, 0-15	29,4	36,3	15,1	2,0	5,8	11,3	19,1
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	32,5	33,3	15,5	1,4	5,0	12,2	18,6
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	16,1	27,8	20,1	5,4	9,2	21,4	36,0
Разрез 100. Серогумусовая глеевая среднесуглинистая крупнопылевато-песчаная почва, пойма реки Данилиха							
AYg,ur,X, 0-22	0,4	41,2	25,4	5,3	7,9	19,8	33,0
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	1,7	48,5	27,1	3,9	7,2	11,6	22,7
Разрез 110. Серогумусовая глеевая среднесуглинистая крупнопылевато-песчаная почва, пойма реки Верхняя Мулянка							
AYg,ur,X, 0-20	19,3	24,5	20,7	7,6	12,6	18,3	38,5
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	45,4	17,0	12,0	3,8	6,8	14,9	25,5
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	11,9	51,5	4,5	2,8	8,9	20,5	32,2
Разрез 120. Серогумусовая глееватая легкоглинистая крупнопылевато-илистая почва, пойма реки Ласьва							
AYg,ur,x, 0-10	0,7	11,2	28,9	11,0	15,1	32,9	59,0
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	0,4	21,1	24,8	9,9	14,0	29,7	53,6
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	12,4	30,5	21,9	5,5	9,2	20,6	35,3
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	37,4	36,7	8,9	2,3	3,6	11,1	17,0
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	5,7	48,6	18,9	3,1	6,0	17,6	26,7

Примечание: в почвах пойм нижних течений рек содержание физической глины (<0,01 мм) приводится по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

В нижнем течении рек гранулометрический состав почв супесчаный крупно-песчанистый в пойме р. Егошиха и среднесуглинистый песчано-крупнопылеватый и крупнопылевато-песчанистый в поймах рек Ива, Данилиха и Верхняя Мулянка. В почвах преобладают фракции мелкого песка – 28–49 %, и только в горизонте АУg<sub>ur</sub>,х почвы поймы р. Ива крупная пыль – 34 %.

Почва поймы в нижнем течении р. Ласьва имеет легкоглинистый крупнопылевато-илистый состав. Содержание физической глины снижается от урбо-серогумусового горизонта до слоя аллювия С2g<sub>h</sub><sup>~</sup>,Х, а ниже в слое С3g<sup>~</sup>,х доминируют крупный и средний песок, и в слое С4g<sup>~</sup>,х – мелкий песок. В составе физической глины доля ила превышает 50 %.

Супесчаный и среднесуглинистый гранулометрический составы, преобладание частиц крупных фракций в почвах пойм нижних течений рек Ива, Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка обеспечивает их относительно высокую водопроницаемость и способствует профильному гидрогенному загрязнению ТЭ. Механизмы гидрогенного загрязнения легких почв поймы реки Верхняя Одра на территории городско-сельских гмин (волостей) Кржижановице (Krzyzanowice) и Гжегожовице (Grzegorzowice) в Польше были описаны D. Ciszewski [330, 331].

Следует также отметить, что в почвах легкого гранулометрического состава происходит вынос ТЭ за пределы профиля [181]. Вместе с тем относительно высокое содержание ила в почвах способствует закреплению в их профиле ТЭ.

От гранулометрического состава почв зависят общие физические и водно-физические свойства.

*Общие физические свойства, почвенно-гидрологические константы.* Ранее было установлено, что бессистемная рекреационная нагрузка на почвы поймы реки Москвы [221], реки Томи [101] способствует их переуплотнению. Почвы пойм малых рек г. Перми испытывают более слабую рекреационную нагрузку, так как долины рек имеют каньонообразное строение и поэтому малопригодны для прогулок.

Плотность почвы определяли методом режущих цилиндров, плотность твёрдой фазы – пикнометрическим способом [24]. Повторность трёхкратная.

Плотность урбо-серогумусовых горизонтов почв пойм нижних течений малых рек Егошиха, Данилиха и Ива относительно низкая: 1,03; 1,04; 1,06 г/см<sup>3</sup> соответственно (таблица 3). Поверхностные горизонты почв пойм нижних течений рек Ласьва и Верхняя Мулянка менее плотные – 0,97 и 0,90 г/см<sup>3</sup>. Плотность оглееных горизонтов почв низкая – 1,03 г/см<sup>3</sup> в почве поймы р. Верхняя Мулянка и 1,18 г/см<sup>3</sup> в почве поймы р. Егошиха.

Плотность твёрдой фазы в гумусированных горизонтах варьирует от 2,39 в почве поймы р. Данилиха до 2,51 г/см<sup>3</sup> в почве поймы р. Ласьва. Относительно низкие значения плотности твёрдой фазы указывают на включение в состав аллювия легких минеральных фракций строительного и городского мусора. В глеевых горизонтах в связи с увеличением содержания фракции крупного песка плотность твёрдой фазы несколько выше – 2,48–2,57 г/см<sup>3</sup>. В слое аллювия почвы поймы р. Ласьва плотность твёрдой фазы достигает 2,55 г/см<sup>3</sup>.

Общая пористость постепенно снижается с глубиной профиля. В поверхностных гумусовых горизонтах она варьирует от 56 до 64 %. Пористость глеевых горизонтов почв пойм остается относительно высокой – свыше 50 %.

Таблица 3

Общие физические свойства и гидрологические константы  
почв пойм нижних течений малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>		P <sub>общ</sub> %	Категории влаги, % от массы почвы				
	d <sub>v</sub>	d <sub>o</sub>		МГ	ВЗ	ВРК	НВ	ПВ
Разрез 80. Урбо-аллювиальная глеевая среднесуглинистая химически слабозагрязнённая почва, пойма реки Ива								
AУg,ur,x, 0-15	1,06	2,41	56,0	5,0	7,5	27	39	49
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	1,16	2,48	53,2	3,6	5,4	24	34	42
Разрез 90. Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной глеевой супесчаной почве, пойма реки Егошиха								
AУg,ur,X, 0-15	1,03	2,42	57,4	3,8	5,7	29	41	51
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	1,18	2,54	53,5	4,7	7,1	24	34	42
Разрез 100. Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной глеевой среднесуглинистой почве, пойма реки Данилиха								
AУg,ur,X, 0-22	1,04	2,39	56,5	4,1	6,2	28	40	50
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	1,17	2,53	53,8	4,3	6,5	24	34	42
Разрез 110. Хемозём среднезагрязнённый по урбо-аллювиальной глеевой среднесуглинистой почве, пойма реки Верхняя Мулянка								
AУg,ur,X, 0-20	0,97	2,45	60,4	4,3	6,5	32	46	57
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	1,03	2,57	59,9	4,4	6,6	30	43	54
Разрез 120. Урбо-аллювиальная глееватая легкоглинистая химически малозагрязнённая почва, пойма реки Ласьва								
AУg,ur,x, 0-10	0,90	2,51	64,1	6,3	9,5	36	52	65
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	1,16	2,55	54,5	5,8	8,7	24	34	43
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	1,08	2,41	55,2	3,6	5,4	27	38	47

Максимальная гигроскопичность (МГ) в гумусовых горизонтах изменяется в интервале от 3,8 до 6,3 % и зависит от содержания ила. В глеевых горизонтах почв величина МГ несколько ниже и варьирует от 3,6 до 4,7 % в почвах пойм рек Ива и Егошиха.

Более низкая общая пористость глеевых горизонтов почв пойм малых рек г. Перми определяет минимальные по профилю значения ПВ и ППВ.

**Физико-химические свойства** аллювиальных почв естественных и агрогенных ландшафтов определяются их геоморфологическим положением и условиями накопления аллювия [60, 153]. Формирование почв пойм городов происходит в условиях отложения урбаногенного аллювия, состав и свойства которого существенно отличаются от аллювия естественных ландшафтов. Физико-химические свойства почв пойм верхних (местный фон) и нижних течений малых рек имеют отличия (таблица 4).

*В поймах верхних течений рек Ива, Егошиха и Данилиха* серогумусовые горизонты почв и глееватые слои аллювия характеризуются очень низким содержанием гумуса – 1,4-1,6 % и 0,9-1,2 % соответственно.

Реакция среды в солевой вытяжке из серогумусового горизонта почвы поймы верхнего течения р. Малая Ива слабокислая –  $pH_{KCl}$  5,2. В глееватом слое аллювия она нейтральная. Повышение значений  $pH$  в нижней части профиля почв связано с влиянием гидрокарбонатных почвенно-грунтовых вод. Такое явление наблюдала А.М. Гущина [88] в пойме р. Немда на территории Кировской области. В профилях почв пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха реакция среды нейтральная –  $pH_{KCl}$  5,9–6,8. Исследования пермского почвовед А.И. Паутова [228] показали, что аллювиальные почвы агроландшафтов в поймах рек южной тайги центра и юга Пермского края часто имеют щелочную реакцию среды. В гидроморфных условиях пойм на формирование реакции среды почв оказывают влияние карбонаты в составе коренных пород пермской геологической системы.

Сумма обменных оснований и ёмкость катионного обмена в почвах низкие, от 5,0 до 6,9 и от 5,6 до 9,1 Ммоль(экв) / 100 г соответственно. Степень насыщенности почв основаниями варьирует от повышенной до высокой (таблица 4).

Концентрация подвижных форм фосфора в поверхностных горизонтах почв пойм варьирует от 140 мг/кг у р. Егошиха до 250 мг/кг у р. Данилиха.

Таблица 4

## Физико-химические свойства почв пойм малых рек города Перми

Горизонт, глубина, см	Гумус, %	Ммоль(экв) / 100 г		V, %	pH <sub>KCl</sub>	мг/кг почвы	
		S	ЕКО			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>верхнее течение</b>							
Разрез 85. Аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма реки Малая Ива							
AУg,x, 0-15	1,6±0,3*	6,9±0,5	9,1±0,6	76±0,7	5,2±0,9	150±13,8	18±2,7
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-30	1,0±0,1	6,1±0,4	6,7±0,4	92±0,4	7,0±0,3	70±9,4	16±2,5
Разрез 95. Хемозём по аллювиальной серогумусовой глееватой почве, пойма реки Егошиха							
AУg,X, 0-15	1,8±0,2	5,9±0,4	6,2±0,3	94±0,3	6,8±0,3	140±12,5	31±3,2
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-30	1,2±0,2	5,0±0,3	5,6±0,4	89±0,5	6,5±0,5	80±11,2	33±3,5
Разрез 105. Хемозём по аллювиальной серогумусовой глееватой почве, пойма реки Данилиха							
AУg,X, 0-15	1,4±0,3	5,9±0,4	6,4±0,5	92±0,5	6,4±0,6	250±14,3	21±2,8
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-30	0,9±0,2	5,7±0,3	6,3±0,4	90±0,4	5,9±0,7	110±9,8	22±3,2
<b>нижнее течение</b>							
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма реки Ива							
AУg,ur,x, 0-15	3,1±0,2	18,8±0,9	19,2±0,8	98±0,3	7,0±0,2	108±9,2	60±5,5
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	2,7±0,1	16,8±0,7	17,2±0,7	98±0,2	6,9±0,3	222±12,3	54±4,8
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	0,5±0,2	14,4±0,5	14,8±0,5	97±0,3	6,9±0,4	215±10,7	73±5,7
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Егошиха							
AУg,ur,X, 0-15	4,2±0,2	14,0±0,6	14,5±0,7	96±0,5	7,0±0,4	235±10,2	121±9,5
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	4,8±0,3	12,8±0,4	13,0±0,4	98±0,4	7,2±0,2	183±9,1	54±3,5
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	0,5±0,2	21,2±1,1	21,7±1,2	98±0,4	6,9±0,3	202±8,7	93±5,8
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Данилиха							
AУg,ur,X, 0-22	4,5±0,2	22,8±1,1	23,3±1,2	98±0,7	7,0±0,3	137±7,1	107±8,3
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	3,4±0,5	42,4±2,3	43,3±2,2	98±0,5	7,1±0,5	241±14,2	117±6,8
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Верхняя Мулянка							
AУg,ur,X, 0-20	3,9±0,3	20,0±0,9	20,5±0,9	97±0,4	6,8±0,4	102±9,9	100±8,7
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	1,5±0,2	13,2±0,6	13,5±0,7	98±0,2	7,1±0,2	118±8,4	47±4,1
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	3,6±0,5	19,2±0,7	19,6±0,6	98±0,3	7,0±0,2	68±6,7	136±9,4
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма реки Ласьва							
AУg,ur,x, 0-10	3,7±0,4	42,8±2,1	45,5±2,1	94±0,6	6,0±0,6	97±7,2	114±7,4
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	3,1±0,3	40,0±1,5	41,0±1,4	98±0,3	6,8±0,3	210±14,7	163±9,8
C2g,h <sup>~</sup> ,X,30-50	3,4±0,2	22,4±1,1	23,3±1,2	96±0,5	6,4±0,5	122±5,4	79±5,8
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	0,7±0,2	11,6±0,6	12,0±0,5	97±0,2	6,7±0,4	140±7,2	54±4,9
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	0,5±0,1	24,0±1,2	24,5±1,2	98±0,4	6,7±0,3	150±8,3	73±5,2

Примечание: \* – среднее ± стандартная ошибка, для n = 5; для почв пойм нижних течений рек значения величин: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O приводятся по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

По шкале Т.В. Прокофьевой [249], почвы относятся к категориям много- и очень много фосфоросодержащих. Источником фосфора в верхних течениях малых рек могут быть коренные породы, свалки бытового мусора.

Содержание обменного  $K_2O$ , оцененное по шкале Мачигина, в поверхностных горизонтах почв пойм очень низкое и варьирует от 18 мг/кг до 31 мг/кг соответственно в поймах рек Ива и Егошиха (таблица 4).

*В почвах пойм нижних течений рек Ива, Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка* содержание гумуса в поверхностных горизонтах выше, чем в верховьях рек, и варьирует от 3,1 до 4,5 %, а в глеевых от 2,7 до 4,8 %. В почвы пойм промышленно-коммунальной зоны города органические вещества поступают в составе аварийных стоков коммунальных вод и в составе вод ливневых стоков. Содержание гумуса в поверхностных горизонтах почв поймы р. Ласьва составляет 3,7 %, а в глееватых слоях аллювия снижается до 0,5 %. В водах р. Ласьва концентрация антропогенных органических веществ меньше, чем в центре города.

Реакция среды в солевой вытяжке ( $pH_{KCl}$ ) во всех почвах пойм промышленно-коммунальной зоны центра города в основном нейтральная. Щелочной сдвиг реакции среды в городских почвах объясняется влиянием антропогенных частиц карбонатов кальция и магния (доломитовый щебень, строительный мусор), а также солей в составе антигололедных средств [26, 104, 144, 159]. Карбонаты кальция в почвах пойм, повышая значения pH, способствуют закреплению ТЭ [172, 312, 317, 337, 350].

Характерное подщелачивание аллювиальных почв было выявлено в поймах рек Левинка и Борзовка в г. Нижний Новгород [264], реки Москва в границах столичного мегаполиса [26, 246, 248], реки Иркут в г. Иркутске [145], рек Бира, Икура, Щукинка в г. Биробиджан [144], рек Берёзовая и Чёрная и ручье Гнилая Падь в г. Хабаровск [159].

Сумма обменных оснований в супесчаных почвах поймы р. Егошиха средняя (14,0 Ммоль(экв) / 100 г); в среднесуглинистых почвах пойм рек Ива и Верхняя Мулянка – повышенная (18,8-20,0 Ммоль(экв) / 100 г), а в пойме р. Данилиха – высокая (22,8 Ммоль(экв) / 100 г). В легкоглинистых почвах поймы р. Ласьва сумма обменных оснований очень высокая (42,8 Ммоль(экв) / 100 г).

Ёмкость катионного обмена в супесчаных почвах поймы р. Егошиха низкая (14,5 Ммоль(экв) / 100 г); в среднесуглинистых почвах пойм малых рек Ива, Верхняя Мулянка и Данилиха – умеренно низкая (19,2-23,3 Ммоль(экв) / 100 г), а в легкоглинистых почвах поймы р. Ласьва – высокая (45,5 Ммоль(экв) / 100 г).

Степень насыщенности основаниями у почв пойм рек левобережной и правобережной части города высокая и варьирует от 94 до 98 %.

Количество подвижных форм фосфора в поверхностных горизонтах варьирует от среднего – 97 мг/кг, в почве поймы р. Ласьва, до высокого содержания – 235 мг/кг в почве поймы р. Егошиха. По шкале, предложенной Т.В. Прокофьевой [249], почвы пойм относятся к категориям средне- и очень много фосфоросодержащие. Источником фосфора в почвах пойм являются промышленно-коммунальные воды, загрязнённые речные воды [89, 223, 224, 225, 226, 271, 274, 291].

Содержание обменного калия (по Мачигину) в урбо-серогумусовых горизонтах колеблется от низкого (60 мг/кг), в почве поймы р. Ива, до среднего уровня (121 мг/кг), в почве поймы р. Егошиха.

Значительное накопление подвижных форм фосфора и калия также отмечали М.Ю. Карпухин [132] в почвах поймы реки Миасс в г. Челябинск, а также О.А. Варава [26], Т.В. Прокофьева [246, 248] в пойме реки Москва.

Таким образом, влияние урбопедоседиментогенеза на свойства почв пойм в пределах промышленно-коммунальной зоны г. Перми, по сравнению с фоновыми почвами, проявляется в увеличении содержания гумуса, поглотительной способности и формировании нейтральной реакции среды. В почвах пойм средних и нижних течений малых рек создаются благоприятные физико-химические условия для закрепления ТЭ.

Процессы миграции и аккумуляции химических элементов в почвах зависят не только от физико-химических свойств почв, но и от их ОВ-состояния [2, 139, 142, 168, 254, 263, 337, 356, 385, 389]. Рассмотрим особенности ОВ-состояния почв пойм малых рек г. Перми.

### **2.3 Окислительно-восстановительное состояние почв**

В поймах ОВ-условия почвообразования определяются динамикой влажности, ОВ-потенциала, кислотно-щелочных условий и температуры почв [65, 139, 252, 253, 254].

В местах закладки ключевых разрезов (№№ 80, 90, 100, 110, 120) размещали стационарные наблюдательные площадки-трансекты размером 3 × 30 метров, на которых проводили режимные наблюдения за динамикой влажности, ОВ-потенциала, кислотно-щелочных условий и температуры. Режимы почв пойм рек Ива, Егошиха и Данилиха изучали в 2006, 2008 и в 2014 годах, а в 2007 году в почвах пойм рек Ласьва и Верхняя Мулянка. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом. Один раз в декаду с мая по сентябрь на каждой наблюдательной площадке отбирали образцы почв буром АН-6 в трёхкратной повторности из поверхностного и подповерхностного горизонтов. Одновременно закладывались свежие почвенные разрезы, в которых в средней части поверхностных и подповерхностных горизонтов определяли  $E_h$ , рН и температуру [262] потенциометрическим методом с помощью

портативного рН метра HI-9025 (Hanna Instruments, Германия), оборудованного электродами редокс HI 3230, рН HI 1230 и термокомпенсатором. Повторность измерений трехкратная. Редокс-потенциал  $E_H$  пересчитывали на водородный электрод.

*Динамика влажности.* В прирусловых поймах малых рек г. Перми весеннее половодье наблюдалось во второй половине апреля, а дождевые паводки в летние месяцы. Режимные наблюдения за влажностью почв пойм в 2006, 2007, 2008 и 2014 годах проводили со второй половины мая до конца сентября.

Погодные условия периодов наблюдений за годы исследований отличались по температуре воздуха, количеству осадков и их распределению во времени. Период наблюдений 2007 года был самым тёплым и влажным, а наиболее прохладным и сухим – период 2014 года. Тёплые периоды 2006 и 2008 годов имели близкие значения температур воздуха и сумму осадков (приложение 3, табл. 1, 2).

По данным метеостанции г. Перми, в мае 2006 и 2008 годов воздух прогрелся в пределах нормы. Осадки выпадали в последних декадах и составили 140–111 % от среднего. Май 2014 года был более сухим (осадков выпало 37 % от нормы) и тёплым, воздух прогрелся на 3° С выше нормы. В 2006 году июнь был сухой и тёплым. Воздух прогрелся до 19,3° С, что выше нормы на 3° С. Осадков выпало 30 мм (39 % от нормы). В 2008 и 2014 годах температура воздуха в июне была около нормы, но дождей было больше (79 % и 111 % от нормы соответственно). Июль 2006 и 2014 годов был прохладным и дождливым со средней температурой воздуха 16° С и 14,4° С соответственно при норме 18,1° С. Осадков в 2006 году выпало 169 % от нормы, а в 2014 – 153 %. Во второй декаде июля 2006 года наблюдалась жаркая и сухая погода. Июль 2008 года был теплее (19,7° С) и суше (осадков выпало 83 % от нормы). Тем-

пература воздуха в августе в 2006 и 2008 годах была в пределах нормы. Но осадков в 2008 году было больше – 118 % против 57 % от нормы в 2006 году. Воздух в 2014 году прогрелся выше нормы на 2° С, осадков выпало 74 % от нормы. Сентябрь в 2006 году был более тёплым и сухим по сравнению с 2008 годом. Так, воздух в 2006 году прогрелся выше нормы на 1,8° С, а в 2008 году – ниже на 1,5° С. Осадков в 2006 году выпало 101 % от нормы, а в 2008 – 126 %. Более сухим оказался сентябрь 2014 года, осадков выпало 61 % от нормы, а температура воздуха была около средней [241, 272].

В мае 2007 г. воздух имел среднесуточную температуру 11,5° С, что близко к норме (10,4° С), осадков же выпало в два раза больше (195 % от нормы). Грозы прошли 24 и 29 мая. Первая половина июня была прохладной, а вторая жаркой. В целом среднесуточная температура этого месяца была ниже нормы – 13,4° С, при норме 16,4° С. Количество осадков составило 233 % от нормы. Первые две декады июля были жаркими. Среднесуточная температура была около нормы и составила 19,7° С. Осадков выпало 107 % от нормы. Средняя температура августа составила 17,8° С, что на 3° С выше нормы. Сумма осадков составила 116 % от нормы. Сентябрь был тёплым и сухим, воздух прогрелся до 10,6° С, что на 1,4 градуса выше среднего. Осадков в сентябре было меньше обычного – 59 % от нормы [241, 273].

Влажность почвы в поймах нижних течений малых рек Ива, Егошиха, Данилиха в 2006, 2008 и 2014 гг. зависела от особенностей погоды в периоды наблюдений и от уровня почвенно-грунтовых вод.

*В почве поймы р. Ива* (наблюдательная площадка разреза 80) влажность урбо-серогумусового глееватого АУg,ur,x и глеевого G<sup>~</sup>,X горизонтов в последних декадах мая 2006 и 2008 годов находилась в верхней части интервала ППВ-ПВ. Обильные осадки оказали влияние на аккумуляцию воды в

почве (приложение 4, таблицы 1, 2, рисунки 1, 2). В сухом и тёплом мае 2014 года влажность в этих же горизонтах опустилась до нижней половины диапазона ППВ-ПВ (приложение 4, таблица 3, рисунок 3).

В начале июня 2006 года тёплая и сухая погода привела к снижению влажности в горизонтах АУg,ur,x и G<sup>~</sup>,X до интервала ВРК-НВ. С середины июня до конца первой декады августа влажность обоих горизонтов повысилась до верхней части интервала ППВ-ПВ. Осадков в июне 2008 и 2014 годов было больше, поэтому влажность в горизонтах АУg,ur,x и G<sup>~</sup>,X варьировала в верхней половине интервала ППВ-ПВ.

Подъем уровня почвенно-грунтовых вод в профиле почвы в июле 2008 г. (засушливый период) и обильные осадки в 2006 и 2014 гг. обеспечили варьирование влажности почвы в горизонтах АУg,ur,x и G<sup>~</sup>,X в верхней половине интервала ППВ-ПВ.

В августе 2006 и 2008 годов весь профиль имел влажность, близкую к ПВ, что, при относительно небольшом количестве осадков, возможно, связано в 2006 году с подъемом уровня почвенно-грунтовых вод, а в 2008 году она была обусловлена выпадением обильных осадков. Август 2014 года был тёплым и сухим, что способствовало снижению влажности почвы, но она всё равно колебалась в интервале ППВ-ПВ.

В первой декаде сентября 2006 года, в третьей декаде сентября 2008 года и во второй декаде сентября 2014 года влажность почвы снижалась, но не ниже уровня ППВ.

*В почве поймы р. Егошиха* (наблюдательная площадка разреза 90) в последней декаде мая 2006 г. дожди увлажнили урбо-серогумусовый глееватый АУg,ur,X и глеевый G<sup>~</sup>,X горизонты до уровня, близкого к ПВ. Погодные условия в мае 2008 г. и в мае 2014 г. характеризовались низким количеством осадков. В связи с этим влажность урбо-серогумусового глееватого АУg,ur,X и глеевого G<sup>~</sup>,X горизонтов варьировала в нижней части диапазона ППВ-ПВ (приложение 4, таблицы 1, 2, 3, рисунки 1, 2, 3).

В начале июня 2006 года из-за сухой и тёплой погоды в обоих горизонтах влажность почвы снизилась до значений, близких к ППВ. Во второй и третьей декадах этого месяца, несмотря на относительно низкое количество осадков, влажность почвы в обоих горизонтах находилась на уровне ППВ-ПВ. Вероятно, это связано с высоким уровнем почвенно-грунтовых вод в низкой пойме. В первой и последней декадах июня 2008 и 2014 годов влажность почвы варьировала в средней части диапазона ППВ-ПВ, а во второй декаде была близкой к ПВ.

Прохладная и дождливая погода в конце первой декады июля в 2006 и в 2014 годах способствовала увлажнению горизонтов АУg,ur,X и G<sup>~</sup>,X до уровня ПВ. В третьей декаде июля влажность почвы в обоих горизонтах незначительно снизилась, но оставалась в интервале ППВ-ПВ. На протяжении всего июля 2008 года установилась тёплая и сухая погода, поэтому влажность во всём профиле снизилась до уровня ППВ.

Сухое начало августа 2006, 2008 и 2014 годов привело к снижению влажности почвы в урбо-серогумусовом и глеевом горизонтах до интервала ППВ-ПВ. Иссушение поверхностного горизонта до интервала ППВ-ВРК наблюдалось и в конце августа 2006 года. В глеевом горизонте в этот период влажность почвы была выше ППВ.

В сухом сентябре 2006 и 2014 годов влажность в обоих горизонтах профиля находилась в пределах верхней части диапазона ППВ-ПВ. Начало третьей декады сентября 2008 года было прохладным и сухим, влажность почвы во всём профиле колебалась в нижней половине интервала ППВ-ПВ.

*В почве поймы р. Данилиха (наблюдательная площадка разреза 100) влажность урбо-серогумусового глееватого АУg,ur,X и глеевого G<sup>~</sup>,X горизонтов в конце мая 2006 года из-за выпадения обильных осадков и подпора грунтовых вод была максимальной и находилась близко к ПВ. Май 2008 года был суше, поэтому влажность обоих горизонтов находилась в*

пределах ППВ-ПВ. Наименьшее количество осадков выпало в мае 2014 г., поэтому влажность во всём профиле варьировала около ППВ (приложение 4, таблицы 1, 2, 3, рисунки 1, 2, 3).

Тёплая и сухая погода в начале июня 2006 года привела к иссушению горизонта АУg,ur,X до интервала ВРК-ППВ. В глеевом горизонте G<sup>~</sup>,X влажность оставалась выше ППВ. С середины июня до конца августа влажность поверхностного горизонта находилась в пределах ППВ-ПВ, а глеевого, вплоть до первой декады сентября, приближалась к ПВ, что связано с высоким уровнем грунтовых вод. В первой декаде сентября содержание влаги в горизонте АУg,ur,X снижалось до уровня ВРК-ППВ.

Начало июня 2008 года было сухое и тёплое, влажность обоих горизонтов находилась в диапазоне ППВ-ПВ. В середине месяца в связи с обильными осадками влажность в поверхностном горизонте была близкой к ПВ, а в глеевом в пределах ППВ-ПВ. Сухая и тёплая погода с конца июня по первую декаду августа не привела к существенному снижению содержания влаги. Во всём профиле она оставалась в интервале ППВ-ПВ. Начало третьей декады сентября 2008 года было прохладным и сухим, влажность во всём профиле оставалась в диапазоне ППВ-ПВ.

Первая половина июня 2014 года была дождливой, влажность поверхностного горизонта находилась в средней части диапазона ППВ-ПВ, а в конце месяца в связи с сухой погодой в его нижней части. В глеевом горизонте значения влажности в это время варьировали в верхней половине интервала ППВ-ПВ. В первой половине июля в связи с обильными осадками влажность во всём профиле находилась в верхней части диапазона ППВ-ПВ. В первой декаде августа содержание влаги снизилось, но в поверхностном горизонте оставалось выше ППВ. В глеевом горизонте влажность была выше и находилась в верхней части диапазона ППВ-ПВ. Сентябрь 2014 года был

самым сухим, влажность во всём профиле варьировала в диапазоне ППВ-ПВ.

В 2007 году значения влажности в почвах пойм рек Верхняя Мулянка и Ласьва варьировали в тесной связи с погодными условиями периода наблюдений.

*В почве поймы р. Верхняя Мулянка* (наблюдательная площадка разреза 110) влажность урбо-серогумусового глееватого  $A\dot{U}g,ur,X$  горизонта в последней декаде мая 2007 года в связи с тёплой и сухой погодой была минимальна за весь тёплый период и находилась в интервале, близком к ППВ. Глеевый горизонт в это время был насыщен грунтовыми водами до ПВ (приложение 4, таблица 4, рисунок 4).

В начале июня прохладная и дождливая погода привела к возрастанию влажности в горизонтах  $A\dot{U}g,ur,X$  и  $G^{\sim},X$  до значений, близких к ПВ. Тёплая погода, установившаяся с середины июня до конца второй декады июля, определила влажность поверхностного горизонта в интервале ППВ-ПВ. В глеевом горизонте влажность в интервале ППВ-ПВ наблюдалась только в середине июня. Затем из-за ливней весь июль и до конца второй декады августа влажность глеевого горизонта приближалась к ПВ. В поверхностном горизонте с третьей декады июля по конец августа влажность снизилась до уровня, близкого к ППВ. В глеевом горизонте к концу августа содержание влаги снизилось до уровня, близкого к ППВ.

*В почве поймы р. Ласьва* (наблюдательная площадка разреза 120) влажность урбо-серогумусового глееватого  $A\dot{U}g,ur,x$  горизонта в начале июня 2007 года находилась в интервале ВРК-ППВ. Погода в этот период была тёплая и сухая. Слой  $C1g^{\sim},X$  в это время имел влажность, близкую к ППВ. Тёплая и сухая погода во второй декаде июня привела к снижению значений влажности в горизонте  $A\dot{U}g,ur,x$  до диапазона ВРК-ППВ, а в слое  $C1g^{\sim},X$  к ППВ-ПВ (приложение 4, таблица 4, рисунок 4).

Начало июля было жарким, влажность почвы в обоих горизонтах находилась в пределах ВРК-ППВ. В начале второй декады июля максимальные значения влажности в горизонте АУg,ur,x достигали интервала ППВ-ПВ, а в слое С1g<sup>~</sup>,Х были близки к ПВ, что было связано с выпадением повышенного количества осадков в это время года. С конца последней декады июля до середины сентября содержание влаги в горизонте АУg,ur,x находилось на уровне ВРК-ППВ. Слой С1g<sup>~</sup>,Х в этот же период времени был увлажнён до уровня ППВ-ПВ.

Таким образом, режимы влажности характеризуют почву пойм малых рек как гидроморфные. Влажность гумусовых горизонтов почв пойм рек Ива, Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка преимущественно находилась в диапазоне ППВ-ПВ, а глеевых горизонтов – на уровне, близком к ПВ. Влажность урбо-серогумусового глееватого горизонта почвы поймы реки Ласьва несколько ниже и варьировала в диапазоне ВРК-ППВ, а в слое аллювия С1g<sup>~</sup>,Х изменялась в интервале от ППВ до ПВ. Максимальные значения полевой влажности почвы отмечались в периоды дождей и при подъёме уровня грунтовых вод.

Особенности режимов влажности почв, установленные за 2-3 года наблюдений, объясняют морфологические признаки проявления процесса оглеения в профилях почв низких пойм малых рек г. Перми.

*Динамика редокс-потенциала  $E_H$ , рН и температуры*  
Влажность почв определяет динамику ОВ-режима, который характеризует изменение ОВ-свойств и процессов во времени и в пространстве. Закономерности режимов  $E_H$ , рН и  $t^\circ C$  позволяют оценить условия почвообразования: развитие оксидогенеза железа; процессы аккумуляции и миграции ТЭ в почвах пойм; формирование геохимических барьеров. Генетической особенностью почв пойм является неустойчивость значений  $E_H$  и неоднородность ОВ-режимов [65, 138, 139, 157, 186, 217].

Оценку ОВ-условий проводили по И.С. Кауричеву [139]: 1) интенсивно восстановительные до 200 мВ; 2) умеренно восстановительные от 200 мВ; 3) слабо восстановительные от 300 мВ; 4) слабо окислительные от 400 мВ; 5) умеренно окислительные от 500 мВ; 6) интенсивно окислительные от 600 мВ.

Сезонное преобладание и профильное распределение ОВ - режимов почв характеризовали по И.С. Кауричеву [139]: 1) почвы с абсолютным господством окислительных процессов, 2) почвы с господством окислительных процессов, 3) с контрастным окислительно-восстановительным режимом, 4) с господством восстановительных условий по всему профилю.

Рассмотрим динамику редокс-потенциала ( $E_H$ ) в почвах изученных пойм.

В почве поймы р. Ива в 2006, 2008 и 2014 годах в горизонте АУg,ur,x ОВ-условия изменялись от слабо- до интенсивно восстановительных (от 392 до -174 мВ), а в глеевом горизонте  $E_H$  находились в интенсивно восстановительном интервале (от 173 до -111 мВ) (приложение 4, таблицы 1, 2, 3, рисунки 5, 6).

В почве поймы р. Егошиха за периоды наблюдений 2006, 2008 и 2014 годов в урбо-серогумусовом глееватом горизонте преобладали умеренно восстановительные процессы. Минимальное значение  $E_H$  составило -48 мВ, что соответствует интенсивно восстановительным условиям, а максимальное значение  $E_H$  составило 444 мВ, что соответствует параметрам слабо окислительных условий. В глеевом горизонте условия почвообразования изменялись от слабо- до интенсивно восстановительных (от 396 до -111 мВ).

В почве поймы р. Данилиха значения  $E_H$  в урбо-серогумусовом глееватом горизонте варьировали от умеренно окислительных условий (532 мВ) до умеренно восстановительных

(205 мВ). В глеевом же горизонте за период наблюдений преобладали интенсивно восстановительные условия, величина  $E_H$  колебалась от 189 до -109 мВ.

*В почве поймы р. Верхняя Мулянка* в 2007 году в АУg,ur,X горизонте  $E_H$  варьировал от слабо окислительных (428 мВ) до умеренно восстановительных (264 мВ) условий. В глеевом же горизонте господствовали интенсивно восстановительные условия ( $E_H$  от 74 до 191 мВ). Умеренно восстановительные условия с  $E_H$  290 мВ были единичны (приложение 4, таблица 4, рисунок 6).

*В почве поймы р. Ласьва* в 2007 году в горизонте АУg,ur,x доминируют слабо окислительные условия, умеренно восстановительные условия были единичны. Величина  $E_H$  здесь варьирует от 454 до 231 мВ. Ниже по профилю почвы, в слое С1g<sup>~</sup>,X, условия окисления-восстановления веществ и соединений ТЭ изменяются от слабо- до интенсивно восстановительных (от 345 до 144 мВ).

Таким образом, можно сделать следующие выводы о динамике  $E_H$ .

Режимные наблюдения показали, что самые низкие значения  $E_H$  (-174 мВ) были зафиксированы в урбо-серогумусовом глеевом горизонте почвы поймы р. Ива. Резкий контраст в динамике  $E_H$  отмечается в почве поймы р. Данилиха. Здесь в урбо-серогумусовом глеевом горизонте  $E_H$  варьирует в диапазоне от умеренно восстановительных до умеренно окислительных условий, а в глеевом горизонте преобладают интенсивно восстановительные условия. В почве поймы реки Ласьва на всём протяжении наблюдений были зафиксированы наиболее высокие значения  $E_H$ . В урбо-серогумусовом глеевом горизонте доминировали слабо окислительные процессы, а в слое С1g<sup>~</sup>,X – умеренно и слабо восстановительные.

В гумусовых горизонтах почв значения  $E_H$  варьировали в очень широком диапазоне: от интенсивно восстановительных

(-174 мВ в почве поймы р. Ива) до умеренно окислительных условий (532 мВ в почве поймы р. Данилиха). В глеевых горизонтах ОВ-условия изменялись от интенсивно восстановительных (-111 мВ в почве поймы р. Ива) до слабо восстановительных условий (396 мВ в почве поймы р. Егошиха). В целом за периоды наблюдений преобладали восстановительные условия. Выводы о контрастности режима  $E_H$  почв пойм малых рек г. Перми согласуются с результатами исследований И.М. Габбасовой [65], А.И. Паутова [227], А.А. Васильева [30], проведённых ранее в естественных или слаботрансформированных пойменных ландшафтах Предуралья.

*Кисотно-щелочные условия*, измеренные в полевых условиях, оценивали в соответствии со шкалой, приведённой в полевом определителе почв [242] и учебном пособии В.Ф. Валькова [25]: 1) 4,0-5,0 – резкокислая реакция среды; 2) 5,0-6,0 – сильнокислая реакция среды; 3) 6,0-6,5 – слабокислая реакция среды; 4) 6,5-7,5 – нейтральная реакция среды; 5) 7,5-8,5 (8,7) – слабощелочные условия; 6) 8,5 (8,7)-10,0 – сильнощелочные условия; 7) 10-12 – резкощелочные условия.

Динамика реакции среды (рН) имеет свою специфику в почвах каждой из изученных пойм (приложение 4, таблицы 1, 2, 3, 4, рисунки 7, 8).

*Почва поймы р. Ива* в 2006, 2008 и 2014 годах в урбо-серогумусовом глееватом и в глеевом горизонтах имеет диапазон рН от сильнокислых (5,8) до слабощелочных (7,8) значений. При этом в профиле преобладала нейтральная среда.

*В почве поймы р. Егошиха* в 2006, 2008 и 2014 годах в горизонтах  $A_{Yg,ur,X}$  и  $G_{\sim,X}$  значения рН варьируют от слабокислых (6,1–6,4) до слабощелочных (7,6) с преобладающими нейтральными значениями.

*В почве поймы р. Данилиха* в 2006, 2008 и 2014 годах в горизонте  $A_{Yg,ur,X}$  реакция среды была нейтральной с еди-

ничными слабокислыми (6,0) и слабощелочными (7,7) значениями рН. В глеевом горизонте рН имеет диапазон от нейтральных (6,6) до слабощелочных (8,1) значений.

*В почве поймы р. Верхняя Мулянка* в 2007 году во всём профиле преобладала нейтральная реакция среды со значениями рН от 6,7 до 7,3 единиц.

*Почва поймы р. Ласьва* в 2007 году в горизонте АУg,ur,x и в слое С1g<sup>~</sup>,Х характеризовалась диапазоном рН от единичных слабокислых (6,0) до нейтральных (7,5) значений.

Таким образом, в почвах пойм малых рек реакция почвенных растворов была преимущественно нейтральная. Значения рН варьировали от сильнокислых условий (5,8 единиц в гумусовых и глеевых горизонтах почвы поймы р. Ива) до слабощелочных значений (8,1 единиц в глеевых горизонтах почвы поймы р. Данилиха).

*Динамика температуры* почв пойм за периоды наблюдений находилась в прямой зависимости от температуры атмосферного воздуха, количества осадков, а также уровня грунтовых вод (приложение 4, таблицы 1, 2, 3, 4, рисунки 9, 10).

*В почве поймы р. Ива* в 2006, 2008 и 2014 годах урбо-серогумусовый глееватый горизонт прогревался от 8,5 до 22,6° С, а глеевый – от 7,4 до 17° С.

*В почве поймы р. Егошиха* в 2006, 2008 и 2014 годах горизонты АУg,ur,Х и G<sup>~</sup>,Х прогревались от 7 до 16–17° С.

Температура почвы в пойме р. Данилиха в 2006, 2008 и 2014 годах в урбо-серогумусовом глееватом горизонте колебалась от 6,4 до 19° С. В глеевом горизонте температура имела диапазон от 7 до 16° С.

Диапазон температуры почвы поймы р. Верхней Мулянки в 2007 г. в гумусовом и глеевом горизонтах находится в пределах 8–19 и 9–16° С соответственно.

*В почве поймы р. Ласьва* в 2007 году урбо-серогумусовый горизонт прогрелся от 11 до 18° С, а ниже лежащий слой аллювия С1g<sup>~</sup>,Х – от 10 до 15° С.

Таким образом, температура почв пойм за периоды наблюдений варьировала в гумусовых горизонтах от 6 до 23° С соответственно в поймах рек Данилиха и Ива, а в глеевых горизонтах от 7 до 17° С соответственно в поймах рек Егошиха и Ива. Больше прогрелись поверхностные горизонты почв пойм рек Ива и Данилиха. Минимальные значения температуры наблюдались в мае 2006 и 2014 годов, а максимальные – в июне–июле.

*Динамика rH.* В почвенном растворе зависимость подвижности ТЭ от  $E_H$  среды связана с кислотнo-щелочными условиями и температурой. Данная связь позволяет рассчитать показатель парциального давления водорода в почвенном растворе  $rH$  [139]. Величина отрицательного логарифма парциального давления водорода в почвенном растворе  $rH$  определялась следующим уравнением:

$$rH = 2 (pe + pH) = 2 (Eh / \nu + pH), \quad (1)$$

где  $\nu = 2,3 RT/F$  – температурный коэффициент [139].

Средние значения  $rH_{cp}$  рассчитаны за весь период наблюдений и установлены минимальные значения  $rH_{min}$  в каждом горизонте.

Полевые режимные наблюдения за  $rH$ , ОВ-потенциалом  $E_H$  и температурой  $t^\circ C$  позволили охарактеризовать динамику парциального давления водорода  $rH$ , то есть дать интегральную оценку ОВ-состояния почв пойм. При величине  $rH$  более 28 единиц преобладают окислительные процессы, при  $rH = 27$  наблюдается переход от окислительных к восстановительным условиям, при  $rH$  менее 27 преобладают умеренно восстановительные условия. При интенсивном развитии восстановительных процессов  $rH$  меньше 20 [252, 253, 254].

Рассмотрим *динамику rH* в почвах изученных пойм.

В почве поймы р. Ива в 2006, 2008 и 2014 гг. в поверхностном горизонте величина  $rH$  варьирует от 7 до 29 единиц. В глеевом горизонте значения  $rH$  интенсивно восстановительные и не превышают 21 единицы (рисунок 5, 6; приложение 4, таблицы 1, 2, 3, 4).

В почве поймы р. Егошиха в 2006, 2008 и 2014 годах в урбо-серогумусовом глееватом горизонте АУg,ur,X показания гН колеблются от 13 до 31. В глеевом горизонте диапазон значений гН шире: от 9 до 29 единиц.

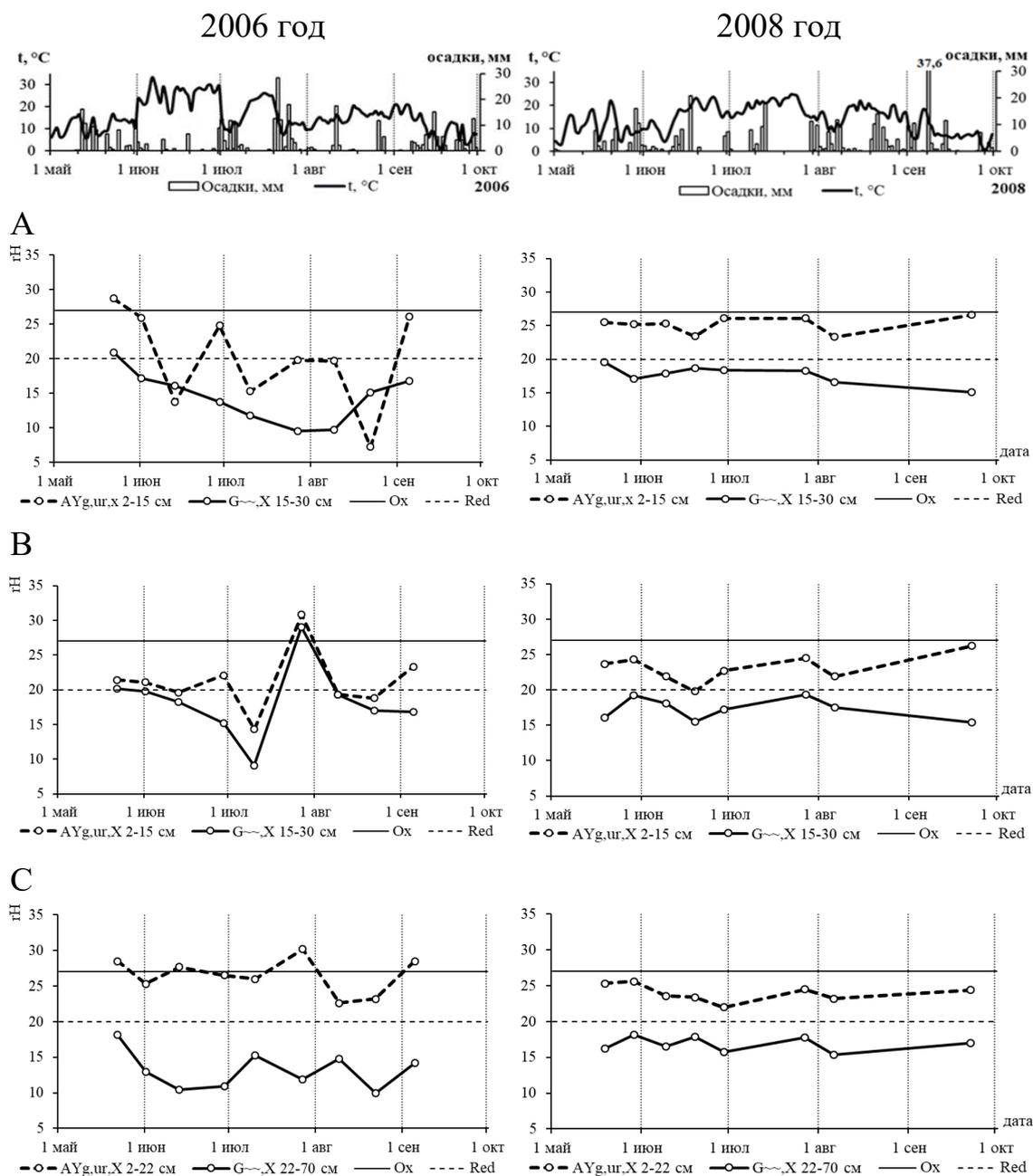


Рисунок 5. Динамика парциального давления водорода гН в почвах пойм нижних течений малых рек г. Перми, 2006, 2008 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха.

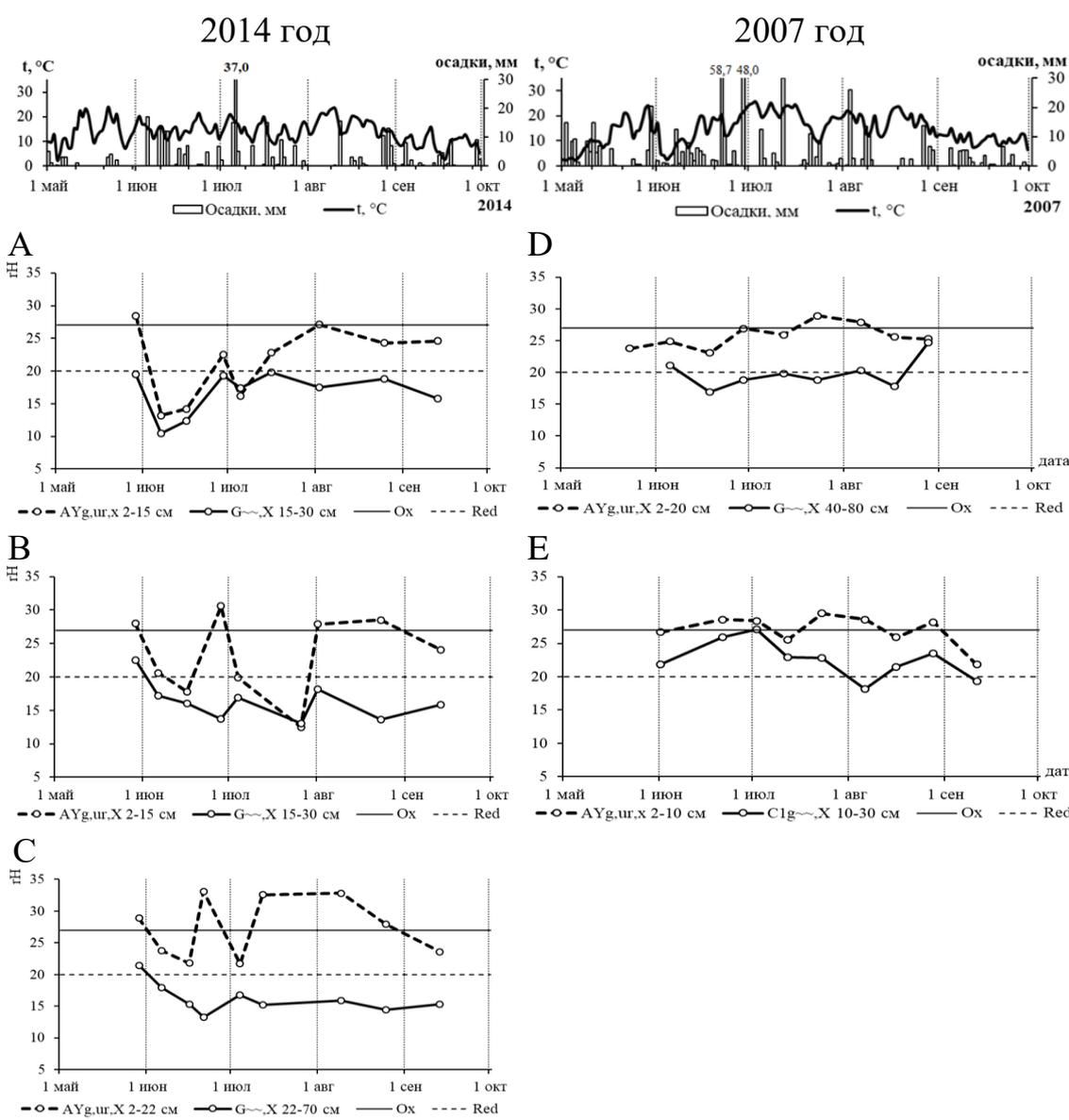


Рисунок 6. Динамика парциального давления водорода  $rH$  в почвах пойм нижних течений малых рек г. Перми, 2014, 2007 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха, D) река Верхняя Мулянка, Е) река Ласьва.

В почве поймы р. Данилиха в 2006, 2008 и 2014 годах в горизонте  $AYg,ur,X$  диапазон значений  $rH$  варьировал от 22 до 33 единиц. В глеевом горизонте все значения  $rH$  определяли интенсивно восстановительные (10–21 единиц) условия.

В почве поймы р. Верхняя Мулянка в 2007 г. в горизонте  $AYg,ur,X$  значения  $rH$  колеблются от 23 до 29 единиц. В глеевом горизонте преобладают интенсивно восстановительные

условия с показаниями гН от 17 до 20 единиц, при этом значения гН, достигающие 25, были единичными.

В горизонте АУg,ur,x почвы поймы р. Ласьва в 2007 году гН варьирует от 22 до 30 единиц. Ниже, в слое аллювия С1g<sup>~</sup>,Х, величины гН имеют диапазон от 18 до 27 единиц.

Таким образом, в почвах пойм формировались преимущественно устойчивые восстановительные условия. Периоды с окислительными процессами, при гН более 28 единиц, были кратковременны. В гумусовых горизонтах величина гН изменялась в интервале от интенсивно-восстановительных условий (7,3 единиц в почве поймы р. Ива) до окислительных (32,8 единиц в почве поймы р. Данилиха). В глеевых горизонтах величина гН соответствовала интенсивно-восстановительным условиям. В подповерхностном глееватом горизонте почвы поймы р. Ласьва преобладали умеренно восстановительные условия.

Относительно стабильное ОВ-состояние в интервале от интенсивно восстановительных до умеренно восстановительных условий и нейтральная реакция среды способствует закреплению в почвах пойм нижних течений рек катионогенных элементов (Pb, Ni, Zn и др.) [2, 66, 185, 350].

## ГЛАВА 3. МИНЕРАЛЫ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВАХ ПОЙМ

### 3.1 Фазовый состав минералов железа и тяжелые металлы

Фазовый состав и количество железосодержащих минералов были исследованы с помощью химического экстрагирования, магнитной восприимчивости, мессбауэровской спектроскопии и электронно-микронного анализа.

Использование комплекса традиционных химических и современных инструментальных методов для изучения минералов железа в почвах позволило определить и оценить не только его валовое содержание, содержание и соотношение катионов Fe в разном валентном состоянии, но и установить другие важные геохимические показатели состояния железа в почвах Среднего Предуралья [30].

В почвах с переменными ОВ-условиями минералы железа принимают существенное участие в аккумуляции антропогенных химических элементов [55].

*Химическое экстрагирование* применяют для изучения содержания несиликатных соединений железа. Слабо- и хорошо окристаллизованные фазы Fe в почвах оценивают по количеству Fe, экстрагируемому вытяжками Тамма (Fe<sub>0</sub>) и Мера-Джексона (Fe<sub>д</sub>) [114, 265, 336, 359]. Содержание потенциально подвижных форм Fe определяли в вытяжках Тамма и Мера-Джексона [114, 265] атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ААС-3 (VEB Carl Zeiss JENA, ГДР). Фракционирование соединений железа выполняли по С.В. Зонну [114, 115]. При этом изучали содержание следующих форм железа: аморфное и слабоокристаллизованное, извлекаемое вытяжкой Тамма (оксалаторастворимое Fe<sub>0</sub>); окристаллизованное (определяли по разности: Fe<sub>ОКРИСТ.</sub> = Fe<sub>д</sub> - Fe<sub>0</sub>) и силикатное (установили из разницы: Fe<sub>СИЛИКАТ.</sub> = Fe<sub>ВАЛ</sub> - Fe<sub>д</sub>).

Степень развития гидроксидогенеза рассчитывали с помощью *критерия Швертмана* [387]:

$$K_{\text{Ш}} = \text{Fe}_o / \text{Fe}_d \quad (2).$$

Оценка содержания в почвах пойм несиликатных форм железа по шкале Ю.Н. Водяницкого [39] показала, что доля дитиониторастворимого железа ( $\text{Fe}_d$ ) варьирует от высокого уровня – 35 % (от валового Fe) в горизонте A<sub>Уg,ur,X</sub> почвы поймы р. Егошиха, до очень высокого уровня – 42 % в слое аллювия C<sub>2g,h<sup>~</sup>,X</sub> почвы поймы р. Ласьва (таблица 5).

Повышенные значения критерия  $K_{\text{Ш}}$  в переувлажнённых почвах согласно С.В. Зонну [115] и Ф.Р. Зайдельману [111] отражают увеличение доли слабоупорядоченных гидроксидов железа. В наилках и поверхностных горизонтах почв преобладают слабоокристаллизованные фазы Fe, средние арифметические значения критерия Швертмана составляют соответственно 0,5 и 0,4 единиц (таблица 5). В глеевых горизонтах значения  $K_{\text{Ш}}$  снижаются до 0,3 единицы, так как в анаэробных условиях сначала восстанавливаются аморфные соединения Fe(III) [381] и доля аморфных гидроксидов железа понижается, а доля окристаллизованных соединений Fe(III) увеличивается. Ранее В.Ф. Бабанин [14], используя метод мессбауэровской спектроскопии, установил, что с ухудшением дренажа почв размеры кристаллов гидроксидов железа и их окристаллизованность в почве увеличиваются.

Доля окристаллизованного железа от валового в гумусовых горизонтах почв пойм рек варьирует от 14 % (р. Верхняя Мулянка) до 32 % (р. Ива) (таблица 5).

Преобладание слабоокристаллизованных минералов железа также наблюдали Š. Dlouhá [336] в почвах поймы реки Литавки (Чехия) и С. Schulz-Zunkel [385] в почвах поймы реки средней Эльбы (Германия).

Таблица 5

Содержание железа в вытяжках Тамма и Мера-Джексона  
и критерий Швертмана в почвах пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	Fe <sub>ВАЛ</sub> , мг/кг	Fe мг/кг / % от вал				K <sub>ш</sub> Fe <sub>о</sub> / Fe <sub>д</sub>
		О	Д	ОКР	СИЛ	
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива						
наилоч, 0-2	37068	$\frac{3200}{9}$	$\frac{15400}{42}$	$\frac{12200}{33}$	$\frac{21668}{58}$	0,21
AУg,ur,x, 0-15	36823	$\frac{3200}{9}$	$\frac{15100}{41}$	$\frac{11900}{32}$	$\frac{21723}{59}$	0,21
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	32070	$\frac{2000}{6}$	$\frac{11800}{37}$	$\frac{9800}{31}$	$\frac{20270}{63}$	0,17
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-70	31581	$\frac{1900}{6}$	$\frac{11000}{35}$	$\frac{9100}{29}$	$\frac{20581}{65}$	0,17
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха						
наилоч, 0-2	37313	$\frac{5500}{15}$	$\frac{12000}{32}$	$\frac{6500}{17}$	$\frac{25313}{68}$	0,46
AУg,ur,X 0-15	35495	$\frac{3700}{10}$	$\frac{12600}{35}$	$\frac{8900}{25}$	$\frac{22895}{65}$	0,29
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	37376	$\frac{3400}{9}$	$\frac{13400}{36}$	$\frac{10000}{27}$	$\frac{23976}{64}$	0,25
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	37145	$\frac{4100}{11}$	$\frac{13900}{37}$	$\frac{9800}{26}$	$\frac{23245}{63}$	0,29
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха						
наилоч, 0-2	21851	$\frac{3300}{15}$	$\frac{9700}{44}$	$\frac{6400}{29}$	$\frac{12151}{56}$	0,34
AУg,ur,X, 0-22	36027	$\frac{3600}{10}$	$\frac{13900}{39}$	$\frac{10300}{29}$	$\frac{22127}{61}$	0,26
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	33769	$\frac{5400}{16}$	$\frac{12700}{38}$	$\frac{7300}{22}$	$\frac{21069}{62}$	0,43
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Верхняя Мулянка						
AУg,ur,X, 0-20	39494	$\frac{8700}{22}$	$\frac{14200}{36}$	$\frac{5500}{14}$	$\frac{25294}{64}$	0,61
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	39885	$\frac{9200}{23}$	$\frac{16400}{41}$	$\frac{7200}{18}$	$\frac{23485}{59}$	0,56
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма р. Ласва						
наилоч, 0-2	41374	$\frac{11300}{27}$	$\frac{14400}{35}$	$\frac{3100}{8}$	$\frac{26974}{65}$	0,78
AУg,ur,x, 0-10	39298	$\frac{7300}{19}$	$\frac{14700}{38}$	$\frac{7400}{19}$	$\frac{24598}{63}$	0,50
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	41080	$\frac{9300}{23}$	$\frac{15600}{38}$	$\frac{6300}{15}$	$\frac{25480}{62}$	0,60
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	38885	$\frac{8800}{23}$	$\frac{16200}{42}$	$\frac{7400}{19}$	$\frac{22685}{58}$	0,54
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	37935	$\frac{8400}{22}$	$\frac{15700}{41}$	$\frac{7300}{19}$	$\frac{22235}{59}$	0,54
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	36152	$\frac{6400}{18}$	$\frac{14400}{40}$	$\frac{8000}{22}$	$\frac{21752}{60}$	0,44

Примечание: О – аморфное Fe по Тамму; Д – несиликатное Fe по Мера-Джексона; ОКР – окристаллизованное Fe (Fe<sub>д</sub> – Fe<sub>о</sub>); СИЛ – силикатное Fe (Fe<sub>ВАЛ</sub> – Fe<sub>д</sub>).

В роренштейнах содержание дитиониторастворимого железа ( $Fe_d$ ), согласно шкале Ю.Н. Водяницкого [39], высокое (24 % от валового Fe) в почве поймы р. Данилиха и очень высокое (71 %) в почве поймы р. Верхняя Мулянка (таблица 6). Доля аморфных и слабоокристаллизованных соединений Fe в роренштейнах почв пойм высокая, согласно значению  $K_{Ш\text{ ср}} = 0,7$ . Содержание окристаллизованного железа значительно ниже и варьирует от 5 % до 24 % от валового Fe.

Таблица 6

Содержание железа в вытяжках Тамма, Мера-Джексона и критерий Швертмана в роренштейнах почв пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	$Fe_{\text{вал}}$ , мг/кг	Fe мг/кг / % от вал				$K_{Ш}$ $Fe_o / Fe_d$
		О	Д	ОКР	СИЛ	
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива						
AУg,ur,x, 0-15	50545	$\frac{27700}{55}$	$\frac{31900}{63}$	$\frac{4200}{8}$	$\frac{18645}{37}$	0,87
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха						
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	316018	$\frac{45700}{14}$	$\frac{111100}{35}$	$\frac{65400}{21}$	$\frac{204918}{65}$	0,41
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха						
AУg,ur,X, 0-22	142128	$\frac{26300}{19}$	$\frac{34000}{24}$	$\frac{7700}{5}$	$\frac{108128}{76}$	0,77
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Верхняя Мулянка						
AУg,ur,X 0-20	271149	$\frac{78100}{29}$	$\frac{118400}{44}$	$\frac{40300}{15}$	$\frac{152749}{56}$	0,66
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	160826	$\frac{76800}{48}$	$\frac{114600}{71}$	$\frac{37800}{24}$	$\frac{46226}{29}$	0,67
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	402037	$\frac{81000}{20}$	$\frac{107000}{27}$	$\frac{26000}{7}$	$\frac{295037}{73}$	0,76
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма р. Ласьва						
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	66042	$\frac{26300}{40}$	$\frac{29300}{44}$	$\frac{3000}{5}$	$\frac{36742}{56}$	0,90

Примечание: О – аморфное Fe по Тамму; Д – несиликатное Fe по Мера-Джексону; ОКР – окристаллизованное Fe ( $Fe_d - Fe_o$ ); СИЛ – силикатное Fe ( $Fe_{\text{вал}} - Fe_d$ ).

*Магнитная восприимчивость* позволяет выявить и оценить загрязнение городских почв техногенными магнитными частицами – носителями ТЭ. Удельная магнитная восприимчивость (УМВ,  $\chi$ ) почв определена на приборе KappaBrige KLY-2 (GeoJyzika BRNO, Чехия).

Коэффициент магнитности КМ рассчитывали по [198]:

$$КМ = k_{изм} / k_{фон}, \quad (3)$$

где  $k_{изм}$  – УМВ образца,  $k_{фон}$  – УМВ фонового образца.

Рассмотрим особенности распределения значений УМВ в почвах пойм малых рек г. Перми. Отметим, что магнитная восприимчивость городских аллювиальных почв и наилок крайне неоднородная (таблица 7). Она изменяется от очень низких ( $26 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг) до умеренно высоких значений ( $629 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг).

*Значения УМВ почв* поймы верхнего течения р. Малая Ива были приняты за фон. Техногенная нагрузка на данной территории низкая. Медианные и средние арифметические значения УМВ в наилках и гумусовых горизонтах почв совпадают (таблица 7). Распределение величин УМВ подчиняется нормальному гауссовскому закону.

В глееватых слоях аллювия нормальное распределение УМВ отсутствует, коэффициент вариации значений УМВ составляет 18 %. Дифференциация магнитного профиля происходит в результате разрушения природных магнитных минералов под влиянием глеегенеза. По шкале Ю.Н. Водяницкого [36], средние арифметические значения УМВ наилок умеренно низкие –  $68 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, а в поверхностных и подповерхностных горизонтах почв – низкие – 49 и  $57 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг соответственно (таблица 7, рисунок 7; приложение 5).

Указанные интервалы УМВ близки к значениям УМВ коренных пород на данной территории –  $17-147 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг (таблица 8).

Таблица 7

Статистические параметры удельной магнитной восприимчивости  $\chi, \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  и коэффициенты магнитности наилок и почв пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	$\chi \times 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$		V%	Md	НСР	КМ
	min-max	$X \pm Sx$				
почвы поймы верхнего течения р. Малая Ива, n = 5						
наилок, 0-2	65-72	68±3	5	67		фон
AУg,x, 0-15	48-50	49±1	2	49	d 8 < НСР <sub>01</sub> 16	
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-70	46-70	57±11	18	54	разница несущественна	
почвы поймы верхнего течения р. Егошиха, n = 5						
наилок, 0-2	123-143	132±8	6	130		1,9
AУg,X, 0-15	58-68	63±4	7	62	d 6 < НСР <sub>01</sub> 62	1,3
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-70	63-82	69±8	12	64	разница несущественна	1,2
почвы поймы верхнего течения р. Данилиха, n = 5						
наилок, 0-2	599-629	613±13	2	611		9,0
AУg,X, 0-15	57-68	62±5	9	59	d 4 < НСР <sub>01</sub> 8	1,3
C1g <sup>~</sup> ,x, 15-70	56-59	58±1	2	58	разница несущественна	1,0
почвы поймы нижнего течения р. Ива, n = 5						
наилок, 0-2	91-116	108±10	10	113		1,6
AУg,ur,x(X), 0-15	66-105	89±16	18	92	d 28 > НСР <sub>01</sub> 26	1,8
G <sup>~</sup> ,x(X), 15-30	57-72	61±7	11	58	разница существенна	1,1
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-70	64 (n = 1)					1,1
хемозёмы поймы нижнего течения р. Егошиха, n = 5						
наилок, 0-2	315-403	356±32	9	358		5,2
AУg,ur,X, 0-15	144-348	270±76	28	287	d 127 > НСР <sub>01</sub> 120	5,5
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	96-163	143±27	19	150	разница существенна	2,5
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	77 (n = 1)					1,4
хемозёмы поймы нижнего течения р. Данилиха, n = 5						
наилок, 0-2	184-362	294±75	25	333		4,3
AУg,ur,X, 0-22	54-96	65±18	28	58	d 4 < НСР <sub>01</sub> 58	1,3
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	40-122	61±35	57	49	разница несущественна	1,1
хемозёмы поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка, n = 2						
AУg,ur,X, 0-20	62-62	62±0	-	62		1,3
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	56-73	65±12	-	65		1,1
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	59-60	60±1	-	60		1,1
почвы поймы нижнего течения р. Ласьва, n = 5						
наилок, 0-2	91-239	149±55	37	140		-
AУg,ur,x(X), 2-10	26-29	27±1	5	27	d 58 > НСР <sub>01</sub> 9	-
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	79-92	85±6	7	84	разница существенна	-
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	45 (n = 1)		-	-		-
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	81 (n = 1)		-	-		-
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	70 (n = 1)		-	-		-

Примечание: min-max – наименьшее и наибольшее значение; X – среднее; Sx – стандартное отклонение; V% – коэффициент вариации; Md – медиана, НСР – наименьшая существенная разница, КМ – коэффициент магнитности, «-» – нет данных.

Продолжение таблицы 7

наилки и горизонты профилей	$\chi \times 10^8, \text{ м}^3/\text{кг}$		V%	Md
	min-max	$X \pm Sx$		
генеральная выборка, n = 80 (наилки и горизонты профилей)	26-613	130±114	87	83
наилки, n = 23	68-613	233±140	60	184
поверхностные горизонты, n = 25	26-348	102±94	92	62
глеевые горизонты, n = 17	40-163	85±44	52	60
глееватые слои аллювия, n = 15	45-92	72±14	19	73

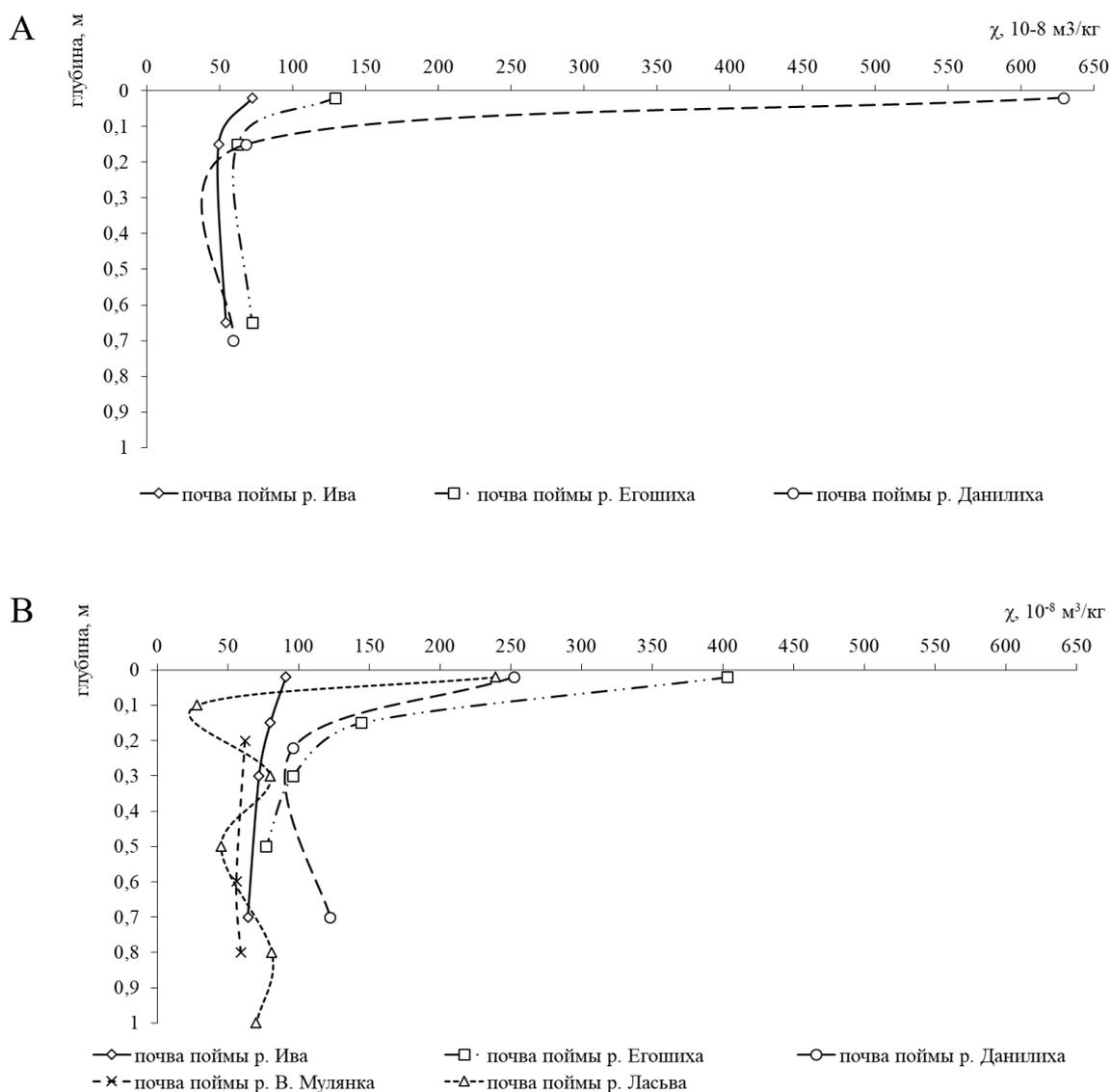


Рисунок 7. Изменение удельной магнитной восприимчивости по профилю почв: А) пойм верхних течений рек Малая Ива, Егошиха, Данилиха; В) пойм нижних течений рек Ива, Егошиха, Данилиха, Верхняя Мулянка и Ласьва.

Таблица 8

Удельная магнитная восприимчивость ( $\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) геологических обнажений палеозойских пород в долине р. Егошиха

Породы	n = 1	min-max	среднее
Пермская глина с включениями слюды	76	17-147	69
Серый песчаник	147		
Зеленовато-серый песчаник	17		
Пермская глина	36		

Между поверхностными и подповерхностными горизонтами существенной разницы в значениях УМВ не выявлено (таблица 7). Величины значений УМВ наилок и почв поймы верхнего течения р. Малая Ива соотносятся с фоновыми значениями УМВ  $10\text{--}50 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , которые были приведены М. Faměra [339] для почв пойм малых рек на территории Чехии. А.А. Васильев [33] для фоновых почв водосборной территории г. Перми рассматривает значение УМВ, равное  $17 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , и утверждает, что на восточной окраине Русской равнины фон УМВ выше, чем в её западной и центральной частях.

В пойме верхнего течения р. Егошиха, на периферии промышленно-коммунальной зоны, УМВ наилок средняя –  $132 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (таблица 7, рисунок 7; приложение 5), но также близка к фоновым значениям  $\chi$  коренных пород водораздельной территории. Коэффициент магнитности не превышает удвоенный фон и равен 1,9 единиц. На умеренно высокую величину УМВ наилок поймы верхнего течения р. Данилиха –  $613 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , и высокий коэффициент магнитности – 9 единиц, влияет транспортное загрязнение от Транссибирской железнодорожной магистрали, трамвайных путей и улицы Куйбышева. Транспортное загрязнение определяет обогащение наилок антропогенными магнетиками.

В почвах пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха преобладают значения УМВ в интервале от низких до умеренно низких ( $58\text{--}69 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ). Коэффициенты магнитности

низкие и варьируют от 1,0 до 1,3. Между УМВ гумусовых горизонтов и УМВ слоёв аллювия C1g<sup>~</sup>,x в данных почвах пойм существенной разницы не выявлено (таблица 7).

Наилки в пойме нижнего течения р. Ива имеют умеренно низкую УМВ –  $108 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, и низкий коэффициент магнитности – 1,6, не превышающий двукратный фон. В профилях почв пойм рек Ива и Верхняя Мулянка наблюдаются низкие и умеренно низкие средние арифметические значения УМВ –  $60-89 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Величина УМВ поверхностных горизонтов почв поймы р. Ива существенно выше, чем в глеевых.

Наилки пойм нижних течений рек Данилиха и Егошиха имеют умеренно высокие значения УМВ – 294 и  $356 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг соответственно. Коэффициенты магнитности составляют 4,3 и 5,2. В профилях почв пойм данных рек средние арифметические значения УМВ варьируют от низких до умеренно высоких:  $61-270 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Коэффициенты магнитности превышают фон в два раза только в поверхностных – 5,5, и глеевых – 2,5, горизонтах почв поймы р. Егошиха. Высокие коэффициенты вариации УМВ – 28 %, отмечены в поверхностных горизонтах почв пойм рек Егошиха и Данилиха. В глеевых горизонтах почв поймы р. Данилиха коэффициент вариации УМВ составляет 57 %. Магнитная восприимчивость поверхностных и глеевых горизонтов почв в пойме р. Егошиха существенно различается. В пойме р. Данилиха УМВ поверхностных и глеевых горизонтов существенно не отличается.

Наилки поймы р. Ласьва в агропоселковой зоне имеют среднюю УМВ –  $149 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. В поверхностных и подповерхностных горизонтах значения  $\chi$  составляют 27 и  $85 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг соответственно. УМВ горизонтов A<sub>Y</sub>g<sub>ur</sub>,x и слоёв аллювия C1g<sup>~</sup>,X существенно различается.

Повышенные значения УМВ наилок пойм нижних течений рек Егошиха, Данилиха и Ласьва можно объяснить вклю-

чением в их состав частиц антропогенного магнетита. Как будет показано ниже, валовое содержание Ni и Cr в наилках поймы р. Егошиха выше, чем в наилках поймы р. Ласьва. Возможно, ферромагнитный Ni и антиферромагнитный Cr изоморфно замещают часть ионов  $Fe^{2+}$  магнетита.

*Особенности профильного распределения УМВ.* В почвах пойм нижних течений рек в промышленно-коммунальной зоне УМВ имеет более высокие значения в поверхностных горизонтах, чем в глеевых. Так, в пойме р. Ива  $\chi$  105–66 и 72–57 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг; р. Егошиха –  $\chi$  348–144 и 163–96 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг; р. Верхняя Мулянка – 62 и 60–59 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг соответственно (таблица 7, рисунок 8). Снижение магнитной восприимчивости в глеевых горизонтах почв пойм рек объясняется разрушением магнитных минералов в восстановительных условиях, что ранее было установлено рядом зарубежных исследователей [336, 339, 352].

Некоторое увеличение УМВ в глеевых горизонтах почв – 40–122 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, по сравнению с поверхностными – 54–96 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, в пойме р. Данилиха можно объяснить присутствием ферримагнитных сульфидов железа (таблица 7, рисунок 8). Так, грейгит ( $Fe_3S_4$ ), формирующийся в анаэробных условиях переувлажнённых почв, богатых органическим веществом, может повышать их магнитную восприимчивость [380, 395, 396].

В почве поймы р. Ласьва в поверхностном горизонте УМВ низкая – 26–29 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, а в глееватом слое аллювия повышается до умеренно низкой – 79–92 $\times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг (таблица 7, рисунок 8). Увеличение УМВ подповерхностного слоя аллювия данной почвы объясняется присутствием крупнозернистого природно-антропогенного магнетита [404]. Действительно, магнетит в данном слое аллювия обнаружен по результатам мессбауэровской спектроскопии.

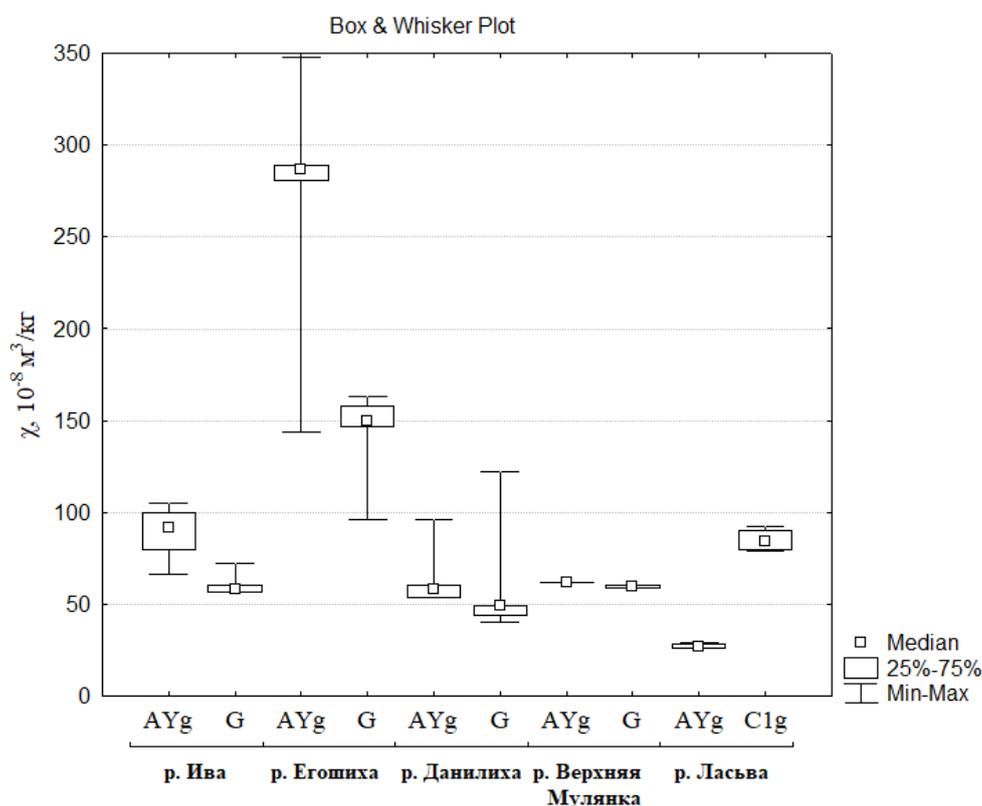


Рисунок 8. Статистические параметры удельной магнитной восприимчивости поверхностных и подповерхностных горизонтов почв пойм рек г. Перми,  $n = 5$ .

Миграция магнитных частиц по профилю лёгких почв была описана Š. Dlouhá [336]. Варьирование УМВ в профилях почв пойм Чехии M. Faměra [339] объясняет переслаиванием аллювия с крупными ферромагнитными частицами с аллювием, в составе которого преобладают мелкие слабомагнитные частицы.

В магнитных фракциях, выделенных из поверхностных горизонтов почв пойм, концентрация Fe, Mn, Cr, Ni, Cu и Zn в несколько раз выше, чем в матрице почвы (таблицы 9, 10). Содержание магнитной фракции в почвах пойм г. Перми относительно низкое: от 0,2 до 0,4 %, и поэтому её вклад в аккумуляцию ТЭ можно считать ограниченным [34]. Вместе с тем следует принять во внимание, что, по данным В.А. Maher [359], магнитная фракция из немагнитной матрицы почв при сухом фракционировании извлекается не в полной мере.

Таблица 9

Содержание Fe и ТМ (мг/кг) в поверхностных горизонтах  
и в магнитной фракции почв пойм малых рек г. Перми [34]

Образцы	Fe 38000*	Mn 850*	Cr 200*	Ni 40*	Cu 20*	Zn 50*	Pb 10*
		1500**	200**	85**	55**	100**	30**
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива							
почва	36823	1176	219	89	70	115	27
магнитная фракция	165663	2144	1998	501	151	407	23
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха							
почва	35495	859	527	338	99	458	38
магнитная фракция	166642	1432	2132	1238	188	560	38
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха							
почва	36027	573	629	262	121	349	90
магнитная фракция	158813	1114	2316	854	194	415	63
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка							
почва	43498	2276	82	79	54	109	25
магнитная фракция	175589	1625	1935	661	208	258	38

Примечание: \* кларк для почв по А.П. Виноградову [35]; \*\* ПДК для валового содержания.

Таблица 10

Коэффициенты концентрации  $K_K$  химических элементов  
в поверхностных горизонтах и магнитной фракции почв пойм малых  
рек г. Перми [34]

Образцы	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	магнитная фракция, % от массы
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива								
почва	1,0	1,4	1,1	2,2	3,5	2,3	2,7	
магнитная фракция	4,4	2,5	10,0	12,5	7,6	8,1	2,3	0,17%
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха								
почва	0,9	1,0	2,6	8,5	5,0	9,2	3,8	
магнитная фракция	4,4	1,7	10,7	31,0	9,4	11,2	3,8	0,40%
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха								
почва	1,0	0,7	3,2	6,6	6,1	7,0	9,0	
магнитная фракция	4,2	1,3	11,6	21,4	9,7	8,3	6,3	0,26%
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка								
почва	1,2	2,7	0,4	2,0	2,7	2,2	2,5	
магнитная фракция	4,6	1,9	9,7	16,5	10,4	5,2	3,8	0,35%

В восстановительных условиях почв пойм природно-антропогенные частицы магнетита превращаются в гетит и гидрогетит. В результате проявления процессов редуктогенеза изоморфные примеси ТЭ, входящие в состав магнетита, могут переходить в подвижную форму и негативно влиять на элементный химический состав грунтовых и речных вод [28, 191].

Нестехиометричность магнетита и концентрация дефектов в его структуре сильнее выражены в частицах магнитной фракции почвы поймы р. Егошиха ( $S = 0,87$ ;  $C = 0,11$ ). В почве поймы р. Данилиха эти показатели дефектов строения кристаллической решетки магнетита не такие высокие:  $S = 1,19$ ;  $C = 0,07$ . Поэтому УМВ магнитной фракции почвы поймы р. Данилиха выше и составляет  $11520 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , а в образце магнитной фазы из почвы поймы р. Егошиха величина УМВ всего  $9090 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Распределение значений УМВ в почвах и наилках пойм р. Ива, р. Егошиха и р. Данилиха не подчиняется нормальному гауссовскому распределению. Аналогичную закономерность наблюдали М.А. Гладышева [77], Л.А. Ширкин [304] для почвенного покрова водораздельных территорий г. Москва и г. Владимир. Для приближения к нормальному гауссовскому распределению и снижения коэффициента вариации М. Fatёra [339] рекомендует применять нормирование УМВ по содержанию железа. Нормирование УМВ по концентрации Fe обосновано тем, что в почвах пойм ферримагнитные минералы «разбавляются» диамагнитными и испытывают педогенное преобразование. Эти эффекты «разбавления» определяют небольшое изменение исходной УМВ в профиле почв, которое подавляется нормированием [339]. Нормирование УМВ по железу относительно фоновой территории также позволяет оценить её загрязнение антропогенными магнетиками.

Выявление магнитных аномалий с помощью значений *коэффициентов EF обогащения УМВ, нормированных по железу* относительно условного фона (таблица 11), показало, что наилки в верхнем течении рек содержат мало магнетиков. Исключение составляют наилки в верхнем течении р. Данилиха,

где было выявлено их значительное обогащение магнетиками ( $EF_{\chi/Fe} = 6,1$ ). Источниками антропогенных магнитных частиц здесь являются Транссибирская железнодорожная магистраль и интенсивное движение автотранспорта по улице Куйбышева. Все эти транспортные артерии г. Перми расположены в пределах водосборной территории верховьев реки Данилиха. Данный факт подтверждает высокую чувствительность магнитных измерений для выявления геохимических аномалий на территории городов. В нижнем течении рек значительно обогащены магнитными частицами наилки пойм рек Данилиха ( $EF_{\chi/Fe} = 6,1$ ) и Егошиха ( $EF_{\chi/Fe} = 5,7$ ).

Таблица 11

Коэффициенты  $EF_{\chi/Fe}$  обогащения УМВ, нормированные по железу, почв и наилок пойм малых рек г. Перми

Уровень обогащения: < 2 – минимальное; 2-5 – умеренное; 5-20 – значительное; 20-40 – очень высокое и > 40 – чрезвычайно высокое загрязнение								
разрез №	образец №	наилки	образец №	поверхностные горизонты	образец №	глиевые горизонты	образец №	слои аллювия
почвы поймы нижнего течения р. Ива								
80	1	1,3	24	1,7	49	1,5	66	1,4
81	2	1,4	25	<b>2,0</b>	50	1,1	н/о	н/о
82	3	1,4	26	1,3	51	1,1	н/о	н/о
83	4	1,4	27	1,8	52	1,1	н/о	н/о
84	5	1,4	28	1,6	53	1,1	н/о	н/о
почвы поймы нижнего течения р. Егошиха								
90	7	<b>5,7</b>	30	<b>3,1</b>	54	<b>1,7</b>	68	<b>1,4</b>
91	8	<b>4,8</b>	31	<b>5,4</b>	55	<b>2,6</b>	н/о	н/о
92	9	<b>4,4</b>	32	<b>5,0</b>	56	<b>2,8</b>	н/о	н/о
93	10	<b>4,6</b>	33	<b>5,4</b>	57	<b>2,7</b>	н/о	н/о
94	11	<b>5,1</b>	34	<b>5,9</b>	58	<b>2,6</b>	н/о	н/о
почвы поймы верхнего течения р. Егошиха								
95	12	1,3	35	1,2	-	-	69	1,2
почвы поймы нижнего течения р. Данилиха								
100	13	<b>6,1</b>	36	<b>2,0</b>	59	<b>2,4</b>	-	-
101	14	<b>1,9</b>	37	<b>1,8</b>	60	<b>1,1</b>	-	-
102	15	<b>3,5</b>	38	<b>1,6</b>	61	<b>1,2</b>	-	-
103	16	<b>3,6</b>	39	<b>1,6</b>	62	<b>1,2</b>	-	-
104	17	<b>3,7</b>	40	<b>1,7</b>	63	<b>1,2</b>	-	-
почвы поймы верхнего течения р. Данилиха								
105	18	<b>6,1</b>	41	1,4	-	-	70	1,2
почвы поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка								
110	н/о	н/о	42	1,2	64	1,0	71	0,9
111	н/о	н/о	43	1,1	65	1,1	72	1,3

Примечание: «-» – горизонт в профиле отсутствует; н/о – не определяли.

Почвы пойм верхних течений рек Егошиха, Данилиха и почвы пойм нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка периферии города незначительно и умеренно обогащены магнетитами. Диапазон максимальных значений коэффициентов  $EF_{\chi/Fe}$  составляет от 1,4 до 2 единиц.

В почвах пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха, в промышленно-коммунальной зоне центра города, значения  $EF_{\chi/Fe}$  варьируют в широком оценочном интервале от незначительного до значительного обогащения. В поверхностных горизонтах почвы поймы р. Егошиха значения  $EF_{\chi/Fe}$  достигают 5,9 единиц. В глеевых горизонтах почв пойм рек Егошиха и Данилиха магнитные частицы разрушаются. Магнитная восприимчивость снижается до  $140 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $EF_{\chi/Fe}$  до 2,8 и 2,4 единиц.

*Магнитная восприимчивость роренштейнов*, выделенных из почв пойм нижних течений рек, варьирует от низкой до очень высокой –  $42\text{--}2003 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (таблица 12). УМВ новообразований выше, чем у вмещающей их матрицы почвы, так как содержание магнетита и ферроксигита в роренштейнах больше.

В поверхностных горизонтах почв поймы р. Ива магнитность  $\chi$  роренштейнов умеренно низкая –  $68 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , а в пойме р. Данилиха средняя –  $161 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . В глеевом горизонте хемозёма поймы р. Егошиха конкреции обладают умеренно высокой УМВ –  $389 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Железистые новообразования из горизонтов  $A\Upsilon g, ur, X$  и  $C1g^{~~}, X$  хемозёма поймы р. Верхняя Мулянка обладают умеренно высокой  $\chi$  –  $520\text{--}574 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , а из глеевого горизонта очень высокой  $\chi$  –  $2003 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Роренштейны из слоя  $C1g^{~~}, X$  урбо-аллювиальной почвы поймы р. Ласьва имеют высокую  $\chi$  –  $1215 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Более высокая УМВ роренштейнов почв пойм рек Верхняя Мулянка и Ласьва, по сравнению с роренштейнами почвы поймы р. Егошиха, объясняется большим размером в них ферромагнитных частиц ферроксигита. Так, согласно Ю.Н. Водя-

ницкому [37, 39, 56], у крупных частиц ферроксигита магнитность достигает  $6300 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , а у тонких частиц всего  $504 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Таблица 12

Магнитная восприимчивость роренштейнов почв пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	вмещающая матрица почвы	роренштейны
	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая почва, пойма р. Ива		
AУg,ur,x, 0-15	80	68
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егوشيца		
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	96	389
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха		
AУg,ur,X, 0-22	96	161
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка		
AУg,ur,X, 0-20	62	574
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	56	520
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	59	2003
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая почва, пойма р. Ласьва		
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	81	1215
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	45	62
C3g <sup>~</sup> ,x,50-80	81	79
C4g <sup>~</sup> ,x,80-100	70	42

*Превращение в почвах сильномагнитных оксидов железа.* Магнетит в загрязнённых почвах пойм является носителем ТЭ [404]. Учитывая то, что реактив Тамма растворяет магнетит [38, 39, 55, 379], мы рассчитали по методике Ю.Н. Водяницкого [46, 55, 57] величину  $\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$  (таблица 13), отражающую содержание сильномагнитных оксалаторастворимых оксидов Fe в наилках, роренштейнах и мелкозёме почв пойм [55].

Сначала определяли удельную магнитную восприимчивость исходных образцов почвы  $\chi_{\text{исх}}$ , далее у остатков почвы после обработки кислым оксалатом аммония  $\chi_0$ .

Таблица 13

Содержание оксалоторастворимых оксидов железа (%), удельная магнитная восприимчивость  $\chi$  до и после химической обработки, и магнитная восприимчивость оксалоторастворимых соединений железа наилок, роренштейнов и почв пойм малых рек г. Перми [55]

Горизонт, глубина, см	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> о, %	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$			
		исходная	после обработки	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> о	
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая почва, пойма р. Ива					
наилок, 0-2	0,46	91	61	6522	
AУg,ur,x, 0-15	0,46	80	54	5652	
роренштейны	3,96	68	40	707	
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	0,29	72	34	13103	
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-70	0,27	64	27	13703	
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха					
наилок, 0-2	0,79	403	215	23797	
AУg,ur,X, 0-15	0,53	144	65	14906	
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	0,48	96	74	4583	
роренштейны	6,53	389	379	153	
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	0,59	77	52	4237	
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха					
наилок, 0-2	0,47	252	97	32978	
AУg,ur,X, 0-22	0,52	96	71	4808	
роренштейны	3,75	161	136	667	
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	0,77	122	89	4286	
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка					
AУg,ur,X, 0-20	1,24	62	39	1855	
роренштейны	11,16	574	277	2661	
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	1,31	56	39	1298	
роренштейны	11,00	520	365	1409	
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	1,43	59	38	1469	
роренштейны	11,57	2003	373	14088	
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая почва, пойма р. Ласьва					
наилок, 0-2	1,55	239	176	4065	
AУg,ur,x, 0-10	1,02	28	21	686	
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	1,33	81	54	2030	
роренштейны	12,80	1215	1191	188	
C2g,h <sup>~</sup> X 30-50	1,25	45	35	800	
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	1,20	81	70	917	
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	0,91	70	55	1648	
роренштейны	3,75	42	35	187	
Статистические показатели величин магнитной восприимчивости оксалоторастворимых соединений железа $\chi \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ о} \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$ почв пойм					
	n	x	интервал	$\delta$	V, %
Наилки	4	16840	4065-32978	13886	82,4
AУg,ur,x; AУg,ur,X	5	5597	755-14906	5583	99,7
G <sup>~</sup> ,X; C1g <sup>~</sup>	11	4355	728-13703	4688	107,6
роренштейны	10	2005	0-14082	4323	215,7

Примечание: n – повторность, x – среднее арифметическое;  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение; V, % – коэффициент вариации.

Величину магнитной восприимчивости  $\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ , представляющую собой разницу между значениями  $\chi$ , нормированную по содержанию экстрагированного железа, рассчитывали по формуле:

$$\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 100 \cdot (\chi_{\text{исх}} - \chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) / \text{Fe}_2\text{O}_3 \quad (4)$$

Средние арифметические значения  $\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$  (таблица 13) в ряду наилки > горизонты: поверхностные > подповерхностные G<sup>~</sup> и C1g<sup>~</sup> > роренштейны показывают, что источником сильномагнитного магнетита в почвах пойм являются наилки. У роренштейнов, по сравнению с матрицей почв, средняя магнитная восприимчивость  $\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$  ниже.

В восстановительных условиях магнетит в почвах пойм превращается в слабомагнитные гидроксиды железа. В результате этого величина  $\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$  почвы становится ниже, чем в наилке.

Высокие значения коэффициента вариации величины  $\chi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$  отражают разные условия трансформации магнетита в горизонтах почв пойм (таблица 13).

Таким образом, глеегенез содействует переводу магнитоупорядоченных инертных оксидов железа в гидроксиды, активно закрепляющие ТЭ.

**Электронно-микронзондовый и энергодисперсионный анализы.** Магнитную фазу из почв выделяли методом сухого фракционирования с помощью постоянного ферритового магнита. Морфологию частиц магнитной фазы и их элементный химический состав диагностировали электронно-микронзондовым и энергодисперсионным анализом на комплексе Tescan Vega II (Tescan, Чехия). Электронно-микронзондовый и энергодисперсионный анализы магнитной фракции показали, что УМВ поверхностного горизонта почвы поймы нижнего течения р. Егошиха (AYg,ur,X, 2-15 см) формируется за счёт обогащения частицами

крупного магнетита неправильной формы и тонкодисперсного магнетита сферической формы (рисунок 9).

Ранее было показано, что магнетит в урбоназёмах г. Перми ассоциирован с никелем, медью, хромом и цинком [31]. В кристаллической решетке магнетита может происходить изоморфное замещение  $\text{Fe}^{2+}$  на  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  или  $\text{Fe}^{3+}$  на  $\text{V}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  [71]. Микросондовая диагностика позволяет определить элементный химический состав магнетита путём расшифровки пиков, полученных при рентгеновском облучении.

В составе магнитной фазы поверхностного горизонта почвы поймы нижнего течения р. Егошиха были диагностированы частицы интерметаллических сплавов с участием Fe и Sn, а также частицы магнетита с примесями Cr и Mn (рисунок 9). Так, химический состав частицы магнетита неправильной формы в точке анализа № 1 следующий: Fe – 70,11 % от массы; O – 23,40; Si – 0,90; Ca – 2,56; Cr – 2,23 и Mn – 0,79 (таблица 14). В точке № 2 энергодисперсионного анализа концентрация железа составляет 71,03 % от массы, O – 23,36 %, в качестве примесей присутствуют: Al – 0,98, Si – 0,70, Ca – 0,46, Cr – 0,91 и Mn – 2,56 [34]. Микросферула магнетита состоит из железа – 76,16 %, и кислорода – 23,84. Поверхность сферулы магнетита «сегментная», что характерно для антропогенного магнетита. Элементный состав интерметаллического сплава в точке анализа № 1 включает: O – 29,68 % от массы; Sn – 70,32. В исследуемой точке № 2 концентрация железа составляет 73,96 % от массы, O – 15,60, Sn – 10,44 [34].

Результаты электронно-микросондового и энергодисперсионного анализов магнитных частиц согласуются с аналогичными исследованиями наилков и почв пойм, выполненных китайскими учеными [404].

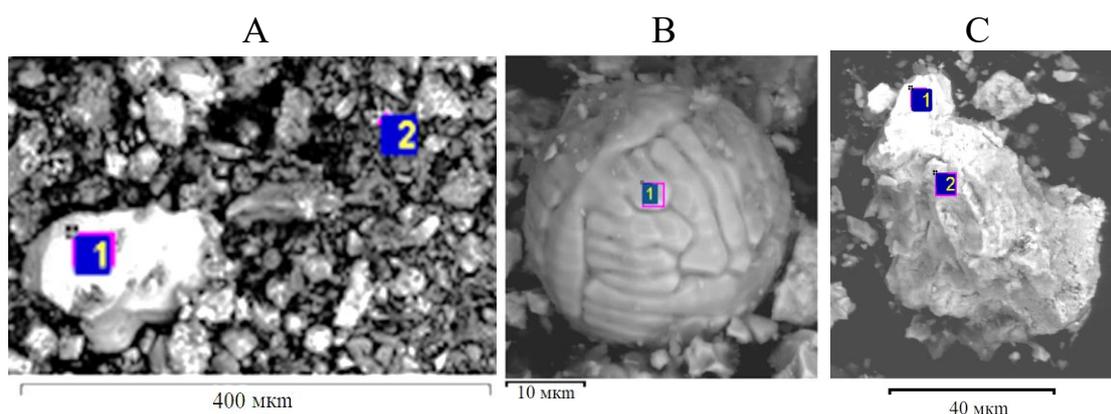


Рисунок 9. Электронно-микроскопические снимки магнитных частиц: магнетит неправильной (А) и сферической (В) формы; интерметаллический сплав (С). Поверхностный горизонт (АУg,ur,Х, 2-15 см) почвы поймы р. Егошиха. Цифры в квадратах – точки проведения энергодисперсионного анализа.

Таблица 14

Элементный химический состав магнетита неправильной формы, магнитная фракция почвы поймы р. Егошиха, в % от массы

Номер спектра	Название минерала	Al	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	O
1	магнетит	0,00	0,90	2,56	2,23	0,79	70,11	23,40
2		0,98	0,70	0,46	0,91	2,56	71,03	23,36

**Мессбауэровская спектроскопия.** Фазовый состав и состояние железосодержащих минералов идентифицировали методом мессбауэровской спектроскопии на спектрометре Ms - 1104Em (Россия). Мессбауэровская спектроскопия подтверждает результаты химической экстракции, магнитометрии и микрозондового анализа.

Среди минералов железа в почве, наилках и роренштейнах пойм нижних течений рек Егошиха и Ласьва преобладают аморфные тонкодисперсные гидроксиды Fe и железосодержа-

щие силикаты. Тонкодисперсные гидроксиды Fe обладают высокой способностью к аккумуляции ТЭ. Их доля от валового содержания железа варьирует от 51 до 80 % (таблицы 15, 16).

Тонкодисперсные (гидр)оксиды железа диагностируются в спектрах по дублетам от ионов Fe(III) октаэдрической координации [208] (рисунок 10, 11).

Доля тонкодисперсных оксидов Fe в составе магнитной фракции гумусовых горизонтов почв существенно ниже – 16 % от общего железа (таблица 17, рисунок 12).

Среди Fe(II)-силикатов в почве и наилках преобладают хлорит, 11–20 %, глауконит, 8 %, и эпидот, 7 %. Хлорит в образцах слоя аллювия почвы поймы р. Ласьва, наилка и глеевого горизонта почвы поймы р. Егошиха определён в спектрах по дублетам высокоспиновых ионов Fe(II) октаэдрической координации [18]. В спектре образца наилка поймы р. Ласьва параметры дублета D1 близки к Fe(II)-глауконита.

Дублеты D3 имеют аномальное квадрупольное расщепление, как у Fe(II), но изомерный сдвиг указывает на октаэдрическую координацию Fe(III), присущую эпидоту [156].

В спектре образца роренштейнов из почвы поймы р. Ласьва дублет D1 указывает на наличие Fe(II)-силиката глауконита в количестве 6,8 % (таблица 16, рисунок 11). Роренштейны из почв пойм рек Данилиха и Верхняя Мулянка, согласно дублетам D1, содержат Fe(II) хлорит, доля которого по сравнению с почвой значительно меньше (5–7 %).

Химический состав хлоритов определяется изоморфными замещениями ионов  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  или  $Fe^{3+}$  в кристаллической решетке на ионы Mn, Cr, Ni, Ti, Zn [72]. Хлориты являются парамагнетиками ( $\chi$  0,05–0,95 $\times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/кг) [332].

Таблица 15

**Мессбауэровские параметры почв пойм  
малых рек города Перми [55]**

Горзонт, глубина, см	спектр		$\delta$	$\Delta$	$\Gamma$	Нэфф, Кэ	К <sub>о</sub>	Железосодержащие минералы	
	компонент	площадь RI, %						мм / с	
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Егошиха									
наилок, 0-2	C1(Fe <sup>3+</sup> )	10,56	0,37	-0,29	0,24	508	0,77	Гематит	10,5
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	A 5,63	0,28	-0,00	0,35	489		Магнетит S 0,97; C 0,09	5,6
	C3(Fe <sup>3+</sup> +Fe <sup>2+</sup> )	B 5,48	0,67	0,00	0,42	459			5,4
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	20,14	1,16	2,56	0,48	-		Хлорит	20,4
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	51,01	0,36	0,64	0,52	-		т/д гидроксиды + силикаты	51,0
	D3(Fe <sup>3+</sup> )	7,17	0,33	1,78	0,48	-		Эпидот	7,2
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	C1(Fe <sup>3+</sup> )	9,83	0,39	-0,22	0,33	512	0,88	Гематит	9,9
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	10,99	0,34	-0,22	0,36	493		Гематит	11,0
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	11,96	1,12	2,59	0,37	-		Хлорит	12,0
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	60,18	0,36	0,62	0,53	-		т/д гидроксиды + силикаты	60,2
	D3(Fe <sup>3+</sup> )	7,03	0,38	1,97	0,48	-		Эпидот	7,0
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма реки Ласва									
наилок, 0-2	C1(Fe <sup>3+</sup> )	6,52	0,37	-0,24	0,26	505	0,91	Гематит	6,5
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	A 3,43	0,28	-0,02	0,32	489		Магнетит S 0,72; C 0,13	3,4
	C3(Fe <sup>3+</sup> +Fe <sup>2+</sup> )	B 2,46	0,67	0,00	0,59	459			2,7
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	8,09	1,28	2,28	0,29	-		Глауконит с Fe <sup>3+</sup>	8,0
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	79,49	0,33	0,70	0,57	-		т/д гидроксиды + силикаты	79,5
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	C1(Fe <sup>3+</sup> )	10,26	0,37	-0,22	0,34	508	0,88	Гематит	10,5
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	A 2,24	0,28	0,00	0,35	489		Магнетит S 0,47; C 0,18	2,2
	C3(Fe <sup>3+</sup> +Fe <sup>2+</sup> )	B 1,06	0,69	-0,02	0,59	455			1,0
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	11,49	1,12	2,61	0,38	-		Хлорит	11,4
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	74,94	0,37	0,64	0,54	-		т/д гидроксиды + силикаты	74,9

*Примечание:  $\delta$  – изомерный сдвиг относительно  $\alpha\text{Fe}$ ;  $\Delta$  – квадрупольное расщепление; Нэфф – эффективное магнитное поле на ядрах Fe<sup>57</sup>;  $\Gamma$  – ширина резонансной линии; К<sub>о</sub> – коэффициент окисления железа; тонкие гидроксиды железа не идентифицируются; S – стехиометричность; C – концентрация дефектов магнетита.*

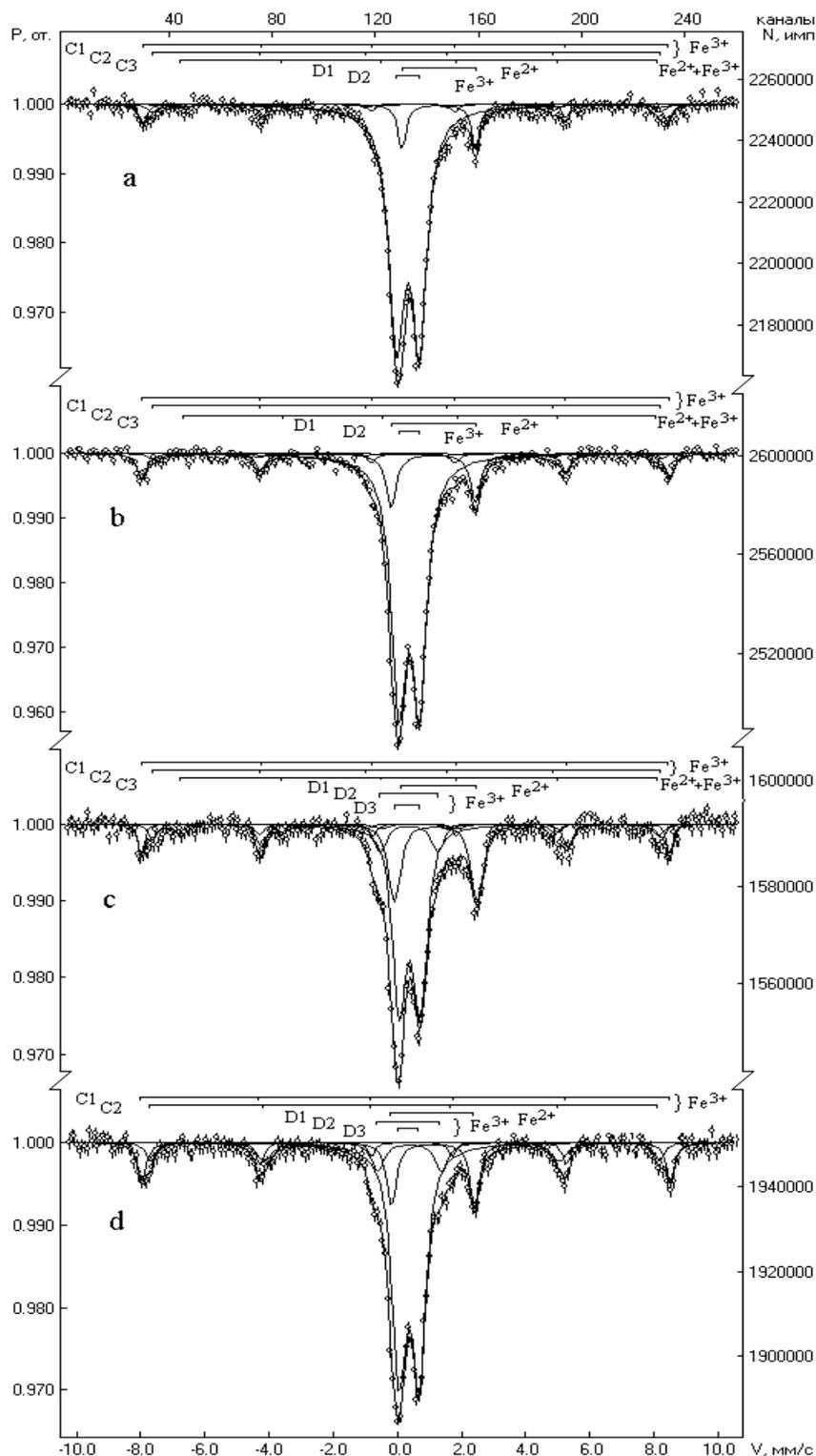


Рисунок 10. Мессбауэровские спектры образцов почв пойм малых рек г. Перми: р. Ласьва: а) наилок; б) слой аллювия C1g<sup>~</sup>,X; р. Егошиха: с) наилок; д) горизонт G<sup>~</sup>,X. P – вероятность резонансного эффекта; n – число каналов; N – число импульсов в канале; V – скорость движения источника  $\gamma$ -излучения.

Таблица 16

Мессбауэровские параметры роренштейнов почв  
пойм рек г. Перми [55].

Горизонт, глубина, см	спектр		$\delta$	$\Delta$	$\Gamma$	Нэфф, Кэ	К <sub>о</sub>	Железосодержащие минералы	
	компонент	площадь RI, %						мм / с	
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Егошиха									
G <sup>~</sup> , X, 15-30	C1(Fe <sup>3+</sup> )	3,65	0,41	-0,22	0,35	509	1,00	Гематит	3,6
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	40,34	0,38	-0,07	1,16	243		Фероксигит	40,3
	D1(Fe <sup>3+</sup> )	56,01	0,36	0,59	0,42	-		т/д гидроксиды + силикаты	56,0
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Данилиха									
AYg, ur, X, 0-22	C1(Fe <sup>3+</sup> )	2,70	0,35	-0,23	н/д	508	0,95	Гематит	2,7
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	1,98	0,38	-0,30	н/д	489		Гематит	1,9
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	4,88	1,14	2,62	н/д	-		Хлорит	4,9
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	39,09	0,36	1,06	н/д	-		Гидрослюда	39,1
	D3(Fe <sup>3+</sup> )	51,34	0,36	0,59	н/д	-		т/д гидроксиды + силикаты	51,4
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка									
C1g <sup>~</sup> , X 20-40	C1(Fe <sup>3+</sup> )	1,94	0,33	-0,12	н/д	489	0,93	Гематит	1,9
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	3,69	0,27	0,08	н/д	476	0,59	Маггемит	3,6
	C3(Fe <sup>3+</sup> )	12,18	0,42	0,01	н/д	290	1,96	Фероксигит	12,3
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	6,97	1,09	2,69	н/д	-	1,12	Хлорит	6,9
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	10,10	0,40	1,13	н/д	-	1,63	Гидрослюда	10,1
	D3(Fe <sup>3+</sup> )	65,12	0,37	0,60	н/д	-	-	т/д гидроксиды + силикаты	65,2
G <sup>~</sup> , X, 40-80	C1(Fe <sup>3+</sup> )	2,55	0,38	-0,26	н/д	495	0,93	Гематит	2,5
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	2,78	0,29	0,34	н/д	478		Маггемит	2,7
	C3(Fe <sup>3+</sup> )	12,39	0,40	-0,07	н/д	279		Фероксигит	12,4
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	6,65	1,10	2,54	н/д	-		Хлорит	6,7
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	16,13	0,36	1,05	н/д	-		Гидрослюда	16,1
	D3(Fe <sup>3+</sup> )	59,50	0,37	0,58	н/д	-		т/д гидроксиды + силикаты	59,6
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма реки Ласва									
C1g <sup>~</sup> , X, 10-30	C1(Fe <sup>3+</sup> )	4,89	0,37	-0,14	0,46	485	0,93	Гематит	4,9
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	14,97	0,39	-0,06	0,58	285		Фероксигит	15,0
	D1(Fe <sup>2+</sup> )	6,76	1,02	2,35	0,39	-		Глауконит	6,8
	D2(Fe <sup>3+</sup> )	73,38	0,38	0,63	0,50	-		т/д гидроксиды + силикаты	73,4

Примечание:  $\delta$  – изомерный сдвиг относительно  $\alpha\text{Fe}$ ;  $\Delta$  – квадрупольное расщепление; Нэфф – эффективное магнитное поле на ядрах  $\text{Fe}^{57}$ ;  $\Gamma$  – ширина резонансной линии; К<sub>о</sub> – коэффициент окисления железа; тонкие гидроксиды железа не идентифицируются.

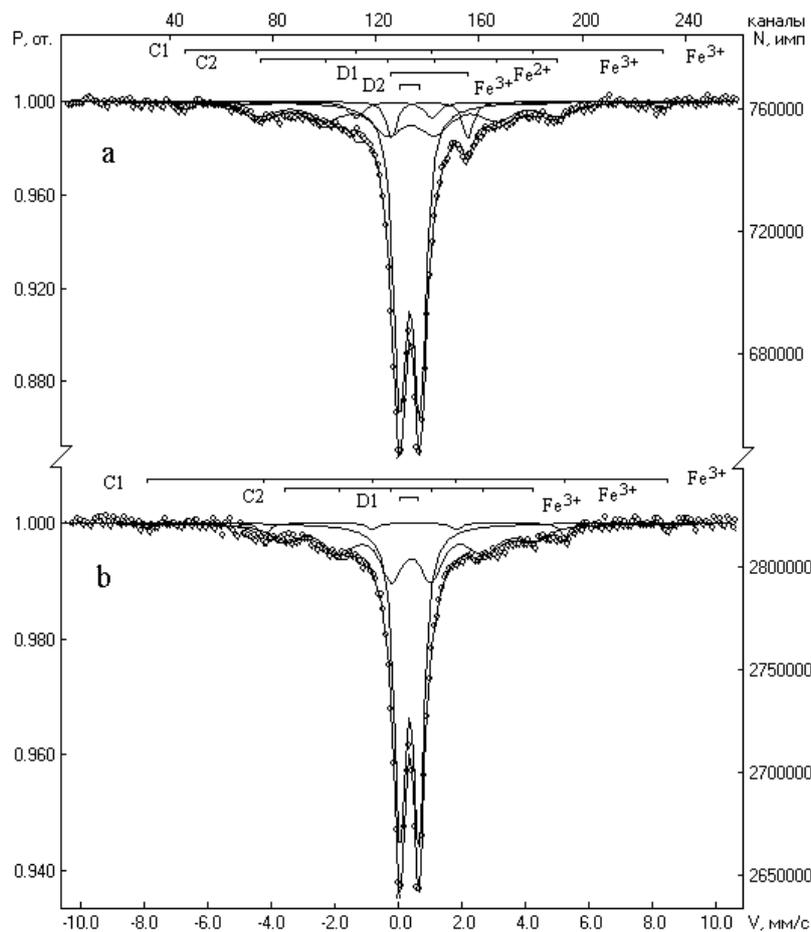


Рисунок 11. Мессбауэровские спектры роренштейнов, выделенных из почв пойм малых рек г. Перми: а) р. Ласьва; б) р. Егошиха. Р – вероятность резонансного эффекта; n – число каналов; N – число импульсов в канале; V – скорость движения источника  $\gamma$ -излучения.

В магнитной фракции, выделенной из поверхностного горизонта почвы поймы р. Егошиха, дублет D2 характеризует состояние  $\text{Fe}^{2+}$ , связанного с хромитом, а D3 с силикатом оливином (таблица 17, рисунок 12). Доля данных фаз составляет 4,3 % от валового железа. Магнитная фракция гумусового горизонта почвы поймы р. Данилиха, согласно дублету D2, содержит силикат фаялит в количестве 1,8 % от валового железа. В оливине  $\text{Fe}^{2+}$  может замещаться Ti, Ca, Mn, Ni и Zn [72].

Содержание гематита в почвах, наилках и магнитной фракции варьирует от 7 до 21 %. В роренштейнах его концен-

трация ниже – 2–5 %. Гематит с различной дисперсностью частиц диагностируется по параметрам секстет C1 и C2 ионов Fe<sup>3+</sup> октаэдрической координации, изомерному сдвигу и квадрупольному расщеплению [19, 370].

Таблица 17

Мессбауэровские параметры магнитных фракций, выделенных из мелкозёма почв пойм рек г. Перми

горизонт, глубина, см	спектр		$\delta$	$\Delta$	$\Gamma$	Нэфф, кЭ	K <sub>o</sub>	Железосодержащие минералы	
	компонент	площадь RI, %						мм / с	
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха									
AYg,ur,X, 0-15	C1(Fe <sup>3+</sup> )	13,4	0,37	-0,18	0,31	511	16,66	Гематит	13,3
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	A 30,4	0,30	-0,03	0,45	487		Магнетит S 0,87 C 0,11	59,4
	C3(Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	B 26,4	0,65	0,03	0,49	455			
	C4(Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	2,9	0,67	0,12	0,58	410		Гётит	3,0
	C5(Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	2,8	0,30	-0,30	0,58	310			
	D1(Fe <sup>3+</sup> )	15,7	0,36	0,72	0,58	-			
	D2(Fe <sup>2+</sup> )	4,4	0,84	1,12	0,58	-		Хромит	4,3
D3(Fe <sup>2+</sup> )	4,0	1,08	2,82	0,58	-	Силикат (оливин)	4,3		
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха									
AYg,ur,X, 0-22	C1(Fe <sup>3+</sup> )	10,3	0,37	-0,19	н/д	511	15,88	Гематит	10,0
	C2(Fe <sup>3+</sup> )	A 33,1	0,29	-0,03	н/д	487		Магнетит S 1,19 C 0,07	73,7
	C3(Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	B 39,5	0,64	0,00	н/д	454			
	C4(Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	1,1	0,91	-0,30	н/д	408		т/д оксид Fe	14,5
	D1(Fe <sup>3+</sup> )	14,3	0,38	0,67	н/д	-			
	D2(Fe <sup>2+</sup> )	1,7	1,16	2,73	н/д	-			

Примечание:  $\delta$  – изомерный сдвиг относительно  $\alpha\text{Fe}$ ;  $\Delta$  – квадрупольное расщепление; Нэфф – эффективное магнитное поле на ядрах Fe<sup>57</sup>;  $\Gamma$  – ширина резонансной линии; K<sub>o</sub> – коэффициент окисления железа; тонкие гидроксиды железа не идентифицируются.

В наилках пойм рек Егошиха и Ласьва, а также в магнитной фракции, выделенной из поверхностных горизонтов почв пойм рек Егошиха и Данилиха, кристаллы гематита совершенные, с магнитными полями на ядрах Fe<sup>57</sup> Нэфф = 505–511 кЭ, по сравнению с 515 кЭ для стандартного гематита [277].

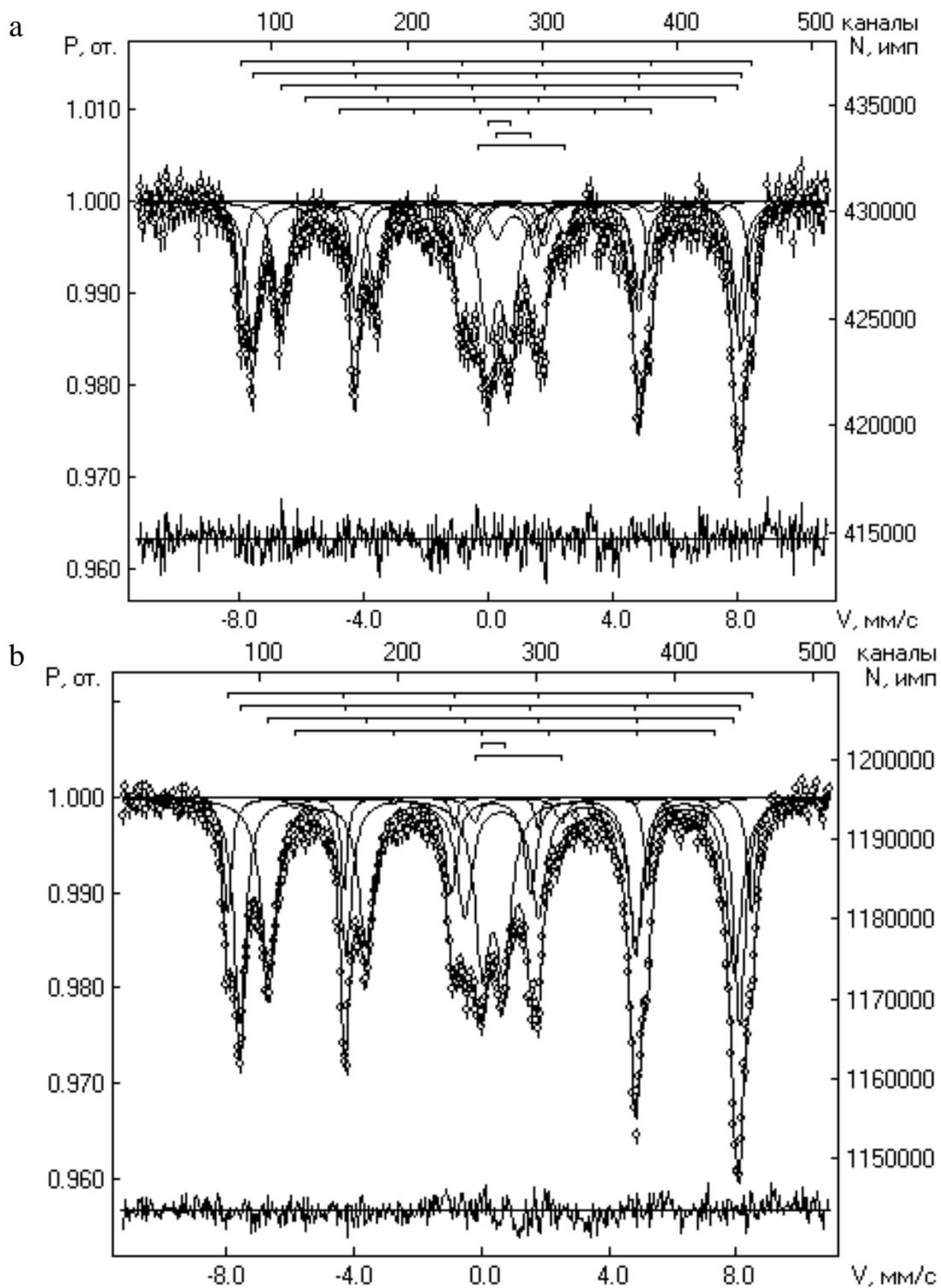


Рисунок 12. Мессбауэровские спектры магнитных фракций, выделенных из поверхностных горизонтов почв пойм рек:  
 а) Егошихи и б) Данилихи г. Перми.

$P$  – вероятность резонансного эффекта;  $n$  – число каналов;  
 $N$  – число импульсов в канале;  $V$  – скорость движения источника  $\gamma$ -излучения.

В глеевом горизонте почвы поймы р. Егошиха выявлены как совершенные кристаллы гематита ( $H_{\text{эфф}} = 512$  кЭ), так и тонкодисперсные с меньшими значениями эффективного магнитного поля ( $H_{\text{эфф}} = 493$  кЭ). В роренштейнах из данного горизонта кристаллы гематита близки к совершенным,  $H_{\text{эфф}} = 509$  кЭ. Гематит в роренштейнах почвы поймы р. Ласьва более дисперсный,  $H_{\text{эфф}} = 485$  кЭ, чем гематит ( $H_{\text{эфф}} = 508$  кЭ) матрицы почвы. Снижение эффективного магнитного поля  $H_{\text{эфф}}$  связано с изоморфным замещением  $Fe^{3+}$  в решётке гематита на катионы других металлов. В сравнении с совершенным гематитом магнитная восприимчивость у тонкодисперсного более высокая.

Доля магнетита  $Fe_3O_4$  в наилках пойм рек варьирует от 6 до 11 % от валового железа, а в мелкозёме почв составляет 3,2 %. По данным А.А. Васильева [33], содержание магнетита в урбаноземах г. Перми достигает 2,4 %. Магнетит диагностирован по секстетам С2 и С3 малой интенсивности. Изомерный сдвиг  $\delta$  секстета С2 (0,28 мм/с) отвечает тетраэдрической координации  $Fe^{3+}$  подрешетки А шпинели магнетита, а таковой секстета С3 (0,67-0,69 мм/с) – октаэдрической от ионов  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$ , связанных электронным обменом подрешетки В. Отношение площадей секстет В и А в мессбауэровском спектре позволяет рассчитать стехиометричность (S) магнетита. Стехиометричность (S) магнетита и концентрацию дефектов в его структуре (C) рассчитывали по формулам Н. Topsoe [398]:

$$S = RI_B / RI_A \quad (5)$$

где  $RI_A$  и  $RI_B$  – площадь секстет С2 ( $Fe^{3+}$ ) и С3 ( $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ) магнетита в мессбауэровских спектрах соответственно.

$$C = (2 - S) / (5 S + 6) \quad (6)$$

У химически чистого стехиометричного магнетита отношение площадей секстет В и А в мессбауэровском спектре равно 2 и пропорционально числу ионов железа (III) и (II) в решетке [31].

Расчёты показали, что магнетит в составе наилок пойм рек Егошиха и Ласьва и аллювия почвы поймы р. Ласьва нестехиометричный, так как отношение площадей секстет отклоняется от двух единиц (таблица 15). По сравнению с наилками поймы р. Егошиха в наилках и слое аллювия почвы поймы р. Ласьва нестехиометричность выражена в большей степени.

Магнитная восприимчивость магнетита, имеющего отклонения от стехиометрии, характеризуется меньшими значениями, чем стехиометричного магнетита. Нестехиометричность повышается при окислении ионов  $Fe^{+2}$  в подрешетке В. Ферримагнитная фаза почв при этом диагностируется как твердый раствор: магнетит-маггемит [260]. Магнитная восприимчивость маггемита ( $\gamma Fe_2O_3$ ) ниже, чем магнетита, и составляет  $26000-37000 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  [332, 359].

Стехиометричность магнетита также позволяет рассчитать показатель концентрации дефектов в его структуре (С) [299, 398]. Концентрации дефектов структуры магнетита выше в наилках и слое аллювия почвы поймы р. Ласьва (таблица 15).

В магнитных фракциях доля магнетита достигает 59,4 и 73,7 % от валового железа. Магнетит магнитной фракции также нестехиометричен, отношение площадей секстет отклоняется от двух единиц (таблица 17). Нестехиометричность магнетита и концентрация дефектов в его структуре сильнее выражена у магнитной фракции почвы поймы р. Егошиха ( $S = 0,87$ ;  $C = 0,11$ ), чем в пойме р. Данилиха ( $S = 1,19$ ;  $C = 0,07$ ).

В роренштейнах почв пойм рек Егошиха, Верхняя Мулянка и Ласьва параметры секстеты  $S_2$  [300] мессбауровских спектров характеризуют магнитоупорядоченные фазы маггемита ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) и ферроксигита ( $\delta-FeOOH$ ) (таблица 16, рисунок

11). Этих минералов нет в наилках и в матрице почвы, вмещающей конкреции, но их содержание в роренштейнах достигает 3,6 % для маггемита и от 12 до 40 % для ферроксигита. Следовательно, генезис маггемита и ферроксигита связан с роренштейнами. Ферроксигит роренштейнов почв пойм рек Верхняя Мулянка и Ласьва более крупный,  $N_{эфф} = 279-290$  кЭ, по сравнению с почвой поймы р. Егошиха – 243 кЭ. Волокнистые частицы ферроксигита обладают высокой геохимической активностью относительно закрепления ТЭ [55]. Частицы антропогенного нестехиометрического магнетита/маггемита могут быть центрами образования конкреций.

Таким образом, в почвах и наилках пойм малых рек г. Перми происходит формирование гидроксидов железа, в том числе в составе роренштейнов, накапливается антропогенный нестехиометрический магнетит/маггемит, которые являются носителями и геохимически активными центрами аккумуляции ТЭ.

Состав и соотношение минералов железа во многом определяют оптические свойства почв.

### **3.2 Минералы железа и оптические свойства почв**

Макроморфологические цветовые признаки проявления процессов оглеения в профиле почв пойм подтверждают инструментальные исследования их оптических свойств. Спектрофотометрическая характеристика почв изучалась в координатах цвета CIE-L\*a\*b\* на спектроколориметре Пульсар (Химавтоматика, Узбекистан). В глеевых горизонтах почв гумидной зоны России наблюдается осветление, наличие синих и сизых тонов [107, 108, 113, 141, 281, 403] и минимальное содержание несиликатного железа ( $Fe_d$ ) [402]. В почвах пойм малых рек г. Перми содержание дитиониторастворимого и окристал-

лизированного железа высокое (таблица 5), присутствует гематит, но бурый тон не доминирует [28].

Преобладание (гидр)оксидов Fe(III) в почвах пойм с восстановительными условиями Е.Е. Roden [383, 384] объясняет селективной редукцией бактериями слабоупорядоченных мелких частиц гидроксидов железа при сохранении крупных упорядоченных частиц гематита, что обеспечивает высокое содержание (Fe<sub>д</sub>) [44]. Новообразованное биогенное Fe(II) сорбируется на поверхности частиц оксидов железа [357, 381, 382], что уменьшает скорость их бактериального восстановления и определяет сизый цвет почв. В восстановительных условиях глинистые силикаты, теряя плёнки оксидов Fe(III), проявляют собственный цвет [44, 113]. В почвах пойм малых рек данный факт подтверждается.

Выявлено, что в глеевых горизонтах почв пойм, по сравнению с гумусовыми, значения индекса красноты  $a^*$  снижаются (таблица 18), что ранее было также установлено другими исследователями оптических свойств почв [32, 322]. В отдельных случаях в глеевых горизонтах почв пойм рек г. Перми краснота  $a^*$  очень низкая и составляет менее трёх единиц. Исключением являются почвы поймы р. Егошиха. Здесь оказался более высоким вклад гематита микрочастиц элювия красноцветных пермских глин в составе аллювия. Для сравнения также отметим, что индекс красноты  $a^*$  в автоморфных дерново-бурых почвах на элювии пермских глин на водоразделе верхних течений рек Ива и Егошиха, по данным В.Ю. Гилева [75], достигают 10 единиц.

В восстановительных условиях часть мелких кристаллов гематита, обладающих значительной краснотой ( $a^* = 16$ ), трансформируется в гидратированные формы Fe(II). Красный

цвет устойчивых кристаллов гематита, имеющих крупный размер, маскируется сизыми и синими плёнками двухвалентных (гидр)оксидов железа и марганца [28].

Таблица 18

Оптические свойства почв пойм малых рек г. Перми

Горизонт	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*/b^*$	$R_{(Lab)}$	$rH_{min}$	$rH_{cp}$
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма реки Ива							
наилок	39,1	3,9	12,1	0,32	12	н.о.	н.о.
AУg,ur,x	44,0	6,0	17,6	0,34	9	7,3	20,1
G <sup>~</sup> ,X	43,0	4,2	12,6	0,33	7	9,5	14,5
C1g <sup>~</sup> ,X	42,7	3,8	11,5	0,33	7	н.о.	н.о.
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Егошиха							
наилок	40,4	2,1	10,7	0,20	5	н.о.	н.о.
AУg,ur,X	39,3	3,5	10,3	0,34	10	14,3	21,2
G <sup>~</sup> ,X	41,5	5,2	16,5	0,32	11	9,1	18,3
C1g <sup>~</sup> ,X	42,5	4,7	13,5	0,35	8	н.о.	н.о.
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Данилиха							
наилок	44,6	1,9	10,5	0,18	2	н.о.	н.о.
AУg,ur,X	45,1	4,6	17,1	0,27	6	22,6	26,5
G <sup>~</sup> ,X	44,4	2,6	15,0	0,17	3	10,0	13,2
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма реки Верхняя Мулянка							
AУg,ur,X	31,9	4,3	12,5	0,34	43	23,1	25,8
C1g <sup>~</sup> ,X	36,2	3,9	13,0	0,30	18	16,9	19,8
G <sup>~</sup> ,X	27,1	3,2	9,0	0,36	85	н.о.	н.о.
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма реки Ласьва							
наилок	26,7	0,5	-0,1	н.о.	-70	н.о.	н.о.
AУg,ur,x	30,4	7,8	15,0	0,52	113	21,8	27,1
C1g <sup>~</sup> ,X	32,1	6,0	13,2	0,45	60	18,1	22,6
C2g,h <sup>~</sup> ,X	27,1	7,0	14,4	0,49	198	н.о.	н.о.
C3g <sup>~</sup> ,x	34,1	7,0	17,7	0,40	48	н.о.	н.о.
C4g <sup>~</sup> ,x	32,1	6,5	15,5	0,42	64	н.о.	н.о.

Примечание:  $L^*$  – светлота;  $a^*$  – краснота;  $b^*$  – желтизна;  $a^*/b^*$  – отношение значений красноты к значениям желтизны;  $R_{(Lab)}$  – показатель красноцветности; н.о. – не определяли.

Высокодисперсный педогенный магнетит имеет низкую желтизну  $b^*$  0,9, красноту  $a^*$  1,0 и светлоту  $L^*$  30,7. У гидрогенного магнетита краснота  $a^*$  ещё ниже и даже может быть

отрицательной, или присутствует зелёный цвет [43].

Наилки пойм рек Ива, Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка имеют низкие значения красноты,  $a^*$  1,9-4,3, и желтизны,  $b^*$  10,5-12,5, а в пойме р. Ласьва желтизна отрицательная,  $b^*$  -0,1, определяющая синий цвет. Вероятно, синим цветом обладают плёнки Fe(II), маскирующие упорядоченный гематит и дающие вместе с магнетитом низкую красноту  $a^*$  0,5. Низкая краснота наилок также объясняется вкладом зелёного глауконита и гидрогенного магнетита.

Глееобразование в слое C1g<sup>~</sup> почвы поймы р. Ласьва менее выражено, значения показателя цвета – красноты  $a^*$ , здесь достигают 6,0 единиц.

Осветление глеевых горизонтов не выявлено. Накопление тёмных сульфидов железа в глеевых горизонтах почв пойм рек Ива, Данилиха и Верхняя Мулянка сопровождается снижением значения светлоты  $L^*$ , которые здесь, по сравнению с почвой поймы р. Ласьва, значительно ниже. Напротив, в хемозёме поймы р. Егошиха светлота  $L^*$ , как и ожидаемо при усилении восстановительных условий вниз по профилю, возрастает от 39,3 до 41,5 единиц.

В почвах пойм рек Ива, Данилиха и Верхняя Мулянка наблюдается снижение вниз по профилю желтизны  $b^*$  с 17,6–12,5 до 15,0–9,0. В почве поймы р. Ласьва желтизна снижается от урбо-серогумусового горизонта до первого слоя аллювия с 15 до 13 единиц, происходит также и рост светлоты от 30 до 32. Чередование слоёв аллювия C2g,h<sup>~</sup>,X, C3g<sup>~</sup>,x, C4g<sup>~</sup>,x с некоторым различием в гранулометрическом составе определяет колебание показателей желтизны 14–18 и светлоты 27–34 единиц.

Оглеение в почвах также диагностируется по пониженным отношениям значений красноты к значениям желтизны  $a^*/b^*$  [254]. В глеевых горизонтах почв пойм снижение отношения  $a^*/b^*$  с глубиной слабое, так как оглеению подвержены

и поверхностные горизонты.

Для численной оценки цвета в единой размерности был рассчитан индекс красноты согласно [323]:

$$R_{(Lab)} = a (a^2 + b^2)^{1/2} 10^{10} / b \cdot L^6 \quad (7)$$

По значениям  $R_{(Lab)}$  глеевых горизонтов можно выделить две группы почв. Первая группа – почвы пойм рек Ива, Егосиха и Данилиха с низкими показателями красноты  $R_{(Lab)}$ , 7; 11; 3 соответственно. Во вторую группу объединились почвы с более высокими показателями красноты  $R_{(Lab)}$ : 85 единиц у глеевых горизонтов хемозёма поймы р. Верхняя Мулянка и горизонты глееватой почвы поймы р. Ласва со значениями  $R_{(Lab)}$  в диапазоне от 48 до 198.

Связь цвета почвы с условиями гидроморфизма и составом минералов-пигментов исследуют с помощью корреляционного анализа [129, 130, 197]. Только на уровне тенденции в профилях почв проявляется связь между значениями  $gN_{min}$  и  $a^*$ ,  $r = 0,25$  (таблица 19). Для урбо-серогумусовых глееватых горизонтов данная связь отсутствует,  $r = 0,01$ , а в глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия связь средняя,  $r = 0,4$ . Более сильная связь наблюдается между значениями  $gN_{cp}$  и  $a^*$ . Для профилей почв  $r = 0,6$ , в урбо-серогумусовых горизонтах  $r = 0,3$  и в глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия  $r = 0,8$ .

Пигментирующее действие несиликатных соединений железа в почвах пойм оценивали с помощью данных о содержании оксалато- и дитиониторастворимых соединений железа  $Fe_O$  и  $Fe_D$ . В профилях почв пойм на уровне тенденции выявлены отрицательные связи между оксалаторстворимым железом ( $Fe_O$ ) и краснотой –  $a^*$ , а также индексом красноты  $R(Lab)$   $r -0,31 - -0,51$ . Данные связи указывают на присутствие в почвах пойм аморфных и слабоупорядоченных минералов железа и магнетита, характеризующихся низкой красно-

той -  $a^*$ . Достоверные положительные связи между содержанием  $Fe_d$ ,  $Fe_{окр}$  и значением красноты  $a^*$ , а также индексом краснотности  $R(Lab)$   $r$  0,68-0,95 соответственно указывают на присутствие в почвах гематита, оказывающего значительное влияние на красный цвет почв.

Таблица 19

Коэффициенты парной корреляции ( $r$ ) по Спирмену между показателями цвета почв и формами железа,  $rH_{min}$ ,  $rH_{cp}$  в профиле ( $n=10$ ) и по горизонтам почв ( $n=5$ ) пойм малых рек г. Перми

	$r$	$rH_{min}$	$rH_{cp}$	$Fe_o$	$Fe_d$	$Fe_{окр}$
$a^*$	в профиле	0,25	0,57	-0,43	<b>0,68</b>	<b>0,85</b>
	в наилках и $AУg,ur$	0,01	0,29	-0,51	<b>0,83</b>	<b>0,87</b>
	в $G^{**}$ и $C1g^{**}$	0,39	0,80	-0,39	0,41	<b>0,95</b>
$R(Lab)$	в профиле	0,57	0,50	-0,34	<b>0,68</b>	<b>0,80</b>
	в наилках и $AУg,ur$	0,46	0,60	-0,31	<b>0,82</b>	0,80
	в $G^{**}$ и $C1g^{**}$	<b>0,93</b>	0,78	-0,43	0,31	<b>0,89</b>

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, достоверные при  $P = 0,95$ .

Присутствие бурого тона у глеевых горизонтов и глееватых слоёв аллювия почв, выявленное при инструментальном лабораторном обследовании, и его отсутствие на полевом этапе морфологического описания, по мнению Ю.Н. Водяницкого [44, 59], связано со следующими причинами. Во-первых, образцы глеевых горизонтов и глееватых слоёв аллювия почв при высушивании подвергаются окислению, и  $Fe(II)$  меняют окраску с голубовато-сизой, грязно-серой на серо-бурую [64, 146, 232]. Во-вторых, измельчение агрегатов мелкозёма при подготовке почв к проведению оптических анализов предполагает разрушение сизых плёнок на поверхности агрегатов и высвобождение из внутриагрегатной массы минеральных частиц бурой окраски.

## ГЛАВА 4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ПОЙМ

Геохимическое состояние почв пойм оценивали по комплексу геохимических констант и экологических стандартов. Использовались три основных эталона – кларки химических элементов, фоновые геохимические уровни, гигиенические нормативы [135]. Предметом оценки были валовая концентрация элементов и содержание подвижных форм ТМ, особенности внутрипрофильного и пространственного распределения элементов, взаимосвязи концентрации химических элементов.

### 4.1 Валовое содержание химических элементов

Валовое содержание Zn, Pb, As, Cr, Ni, Cu, Mn, Sr, Al, Si, K, Y, Rb, Ga, Ti, Zr, Fe, P, S, Ca и Mg в пробах почв, магнитной фракции и роренштейнах определяли рентгенофлуоресцентным методом на приборе ORTEC-6111-TEFA (ORTEC Incorporated, США).

*Характеристика варьирования валового содержания химических элементов.* В генеральной выборке образцов ( $n = 80$ ) изученные химические элементы в составе почв пойм исследованной территории разделяются на две условные группы. Первая группа – техногенные элементы (ТЭ). Варьирование концентрации ТЭ: Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, As, Mn, а также S, P, Mg, Ca не подчиняется нормальному гауссовскому закону (таблица 20). Это свидетельствует о разнообразии источников поступления ТЭ и о высокой техногенной нагрузке, оказываемой данными элементами на аллювиальные почвы. Для Si, Al, Fe, K, Ti, а также Sr, Ga, Zr, Rb, Y, отнесённых ко второй группе, медианные и средние арифметические значения их валового содержания близки и подчиняются нормальному (гауссовскому) распределению. Следовательно, химические элементы второй группы поступают в поймы преимущественно из естественных источников.

Коэффициенты вариации и стандартные отклонения значений концентрации Cr, Pb, Ni, Zn, Mn, Cu, As, S, P, Mg, Ca высокие, что характерно для техногенных химических аномалий [3, 255, 338].

Таблица 20

Статистические показатели содержания химических элементов, мг/кг в наилках и горизонтах почв пойм малых рек г. Перми, n = 80

	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>As</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Sr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Y</b>	<b>Rb</b>	<b>Ga</b>	<b>Ti</b>	<b>Zr</b>
M	211	40	184	7	127	84	278	1273	38948	23	54	13	4268	229
± m	155	34	185	4	101	55	33	920	6638	4	10	5	653	62
min	61	6	34	3	28	23	214	410	21851	12	30	3	2191	81
max	814	196	1436	23	515	361	407	4466	54145	32	76	29	5613	418
Md	144	30	130	6	78	65	275	955	39518	23	53	13	4382	234
	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>K</b>							
M	1674	928	33932	8520	58044	283588	13303							
± m	1923	697	18482	6183	9528	43128	1571							
min	392	92	10289	1158	30957	31826	7395							
max	10672	3423	94294	46021	72283	357428	16144							
Md	1134	702	29040	7625	59566	289587	13620							
Ряды ранжированных коэффициентов вариации V, %														
V, %: 0-10 незначительное; 10-20 небольшое; 20-40 среднее; 40-60 высокое; > 60 очень высокое														
наилки	Mg <sub>96</sub> P <sub>79</sub> Cu <sub>66</sub> Ni <sub>64</sub> Mn <sub>63</sub> Zn <sub>62</sub> Cr <sub>58</sub> (Pb,Ga) <sub>48</sub> S <sub>47</sub> As <sub>46</sub> Ca <sub>41</sub> Zr <sub>30</sub> Rb <sub>24</sub> (Y,Al) <sub>18</sub> (Fe,Ti) <sub>17</sub> K <sub>16</sub> (Si,Sr) <sub>14</sub>													
гумусовые горизонты	Ca <sub>107</sub> Mn <sub>99</sub> Zn <sub>67</sub> P <sub>48</sub> S <sub>44</sub> Ga <sub>41</sub> As <sub>34</sub> (Mg,Cu) <sub>33</sub> Pb <sub>23</sub> (Ni,Zr) <sub>20</sub> Sr <sub>18</sub> Cr <sub>17</sub> (Al,Si) <sub>14</sub> Ti <sub>8</sub> (K,Y) <sub>6</sub> (Fe,Rb) <sub>5</sub>													
глеевые горизонты	Cr <sub>139</sub> S <sub>94</sub> Ni <sub>92</sub> P <sub>85</sub> Cu <sub>65</sub> Zn <sub>61</sub> As <sub>53</sub> Pb <sub>52</sub> Ga <sub>37</sub> (Mg,Ca,Mn) <sub>32</sub> Si <sub>24</sub> Zr <sub>18</sub> (Fe,Y) <sub>15</sub> (Al,Ti) <sub>12</sub> Rb <sub>11</sub> Sr <sub>9</sub> K <sub>7</sub>													
слои аллювия	Pb <sub>113</sub> Cr <sub>81</sub> Ni <sub>80</sub> S <sub>71</sub> As <sub>70</sub> P <sub>60</sub> Zn <sub>59</sub> Mg <sub>49</sub> Cu <sub>47</sub> Ca <sub>41</sub> Mn <sub>34</sub> Ga <sub>32</sub> Zr <sub>21</sub> Y <sub>14</sub> Sr <sub>13</sub> Rb <sub>11</sub> (Fe,Si,Ti) <sub>10</sub> Al <sub>9</sub> K <sub>7</sub>													
генеральная выборка	S <sub>115</sub> Cr <sub>100</sub> Pb <sub>85</sub> Ni <sub>79</sub> P <sub>75</sub> (Zn,Mg) <sub>73</sub> Mn <sub>72</sub> Cu <sub>66</sub> As <sub>56</sub> Ca <sub>54</sub> Ga <sub>40</sub> Zr <sub>27</sub> (Rb,Y) <sub>19</sub> Fe <sub>17</sub> Al <sub>16</sub> (Si,Ti) <sub>15</sub> (Sr,K) <sub>12</sub>													

Примечание: M – среднее арифметическое значение; ± m – стандартное отклонение; min – минимальное значение; max – максимальное значение; Md – медиана.

Местоположение отдельных сегментов речных долин на территории города определяет степень техногенной нагрузки на почвы пойм и концентрацию химических элементов в аллювиальных почвах. Естественно, что почвы пойм в центральной части города имеют более высокие концентрации ТЭ.

Оценка по t-критерию Стьюдента различий валового содержания ТЭ в аллювиальных почвах показала, что валовое содержание Zn, Pb, Cr, Ni, Cu и S выше в пойме нижнего течения р. Егошиха, протекающей в центре города, чем в поймах участков долин рек Ива, Верхняя Мулянка и Ласьва на периферии города (таблица 21). В старопромышленной центральной части города концентрация Zn, Ni и Cu в почвах поймы р. Егошиха выше, чем в пойме р. Данилиха.

Таблица 21

Оценка по t-критерию Стьюдента различий валового содержания техногенных элементов в А – поверхностных и В – подповерхностных горизонтах почв пойм малых рек г. Перми

эле- мент	Zn		Pb		Cr		As		Ni		Cu		Mn		S	
	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В	А	В
разница средних концентраций (n = 5) в парах сравнения																
И-Е	-147,4	-229,8	-18,2	-25,4	-149,2	-161,2	0,8	-3,4	-133,0	-184,6	-40,0	-48,0	112,2	131,6	-417,6	-5560,8
И-Д	-16,2	-91,4	-6,6	-17,0	-53,2	-247,4	1,0	-1,2	-8,0	-67,6	7,2	-28,0	543,2	-203,0	-609,6	-3388,0
И-М	46,5	-57,7	7,4	3,6	77,9	50,7	3,3	-0,2	7,4	-6,0	25,2	-3,6	-256,4	-314,1	-228,0	-1790,4
И-Л	-22,0	-79,2	16,0	-120,2	52,0	50,8	1,4	-7,6	18,2	3,8	27,6	11,6	-131,4	-623,8	-61,6	246,4
Е-Д	131,2	138,4	11,6	8,4	96,0	-86,2	0,2	2,2	125,0	117,0	47,2	20,0	431,0	-334,6	-192,0	2172,8
Е-М	193,9	172,1	25,6	29,0	227,1	211,9	2,5	3,2	140,4	178,6	65,2	44,4	-368,6	-445,7	189,6	3770,4
Е-Л	125,4	150,6	34,2	-94,8	201,2	212,0	0,6	-4,2	151,2	188,4	67,6	59,6	-243,6	-755,4	356,0	5807,2
Д-М	62,7	33,7	14,0	20,6	131,1	298,1	2,3	1,0	15,4	61,6	18,0	24,4	-799,6	-111,1	381,6	1597,6
Д-Л	-5,8	12,2	22,6	-103,2	105,2	298,2	0,4	-6,4	26,2	71,4	20,4	39,6	-674,6	-420,8	548,0	3634,4
М-Л	-68,5	-21,5	8,6	-123,8	-25,9	0,1	-1,9	-7,4	10,8	9,8	2,4	15,2	125,0	-309,7	166,4	2036,8
t фактическое для пар сравнения																
И-Е	-3,5*	-13,3*	-3,5*	-2,5*	-2,4*	-4,0*	0,4	-1,4	-4,3*	-9,0*	-3,9*	-4,3*	0,7	2,4*	-3,8*	-3,6*
И-Д	-0,3	-1,6	-0,5	-2,1	-0,5	-0,9	0,5	-0,5	-0,2	-0,8	0,5	-0,7	4,5*	-1,8	-5,5*	-2,0
И-М	3,7*	-17,8*	1,9	0,6	3,3*	2,2	1,8	-0,1	1,1	-0,6	3,7*	-0,6	-0,4	-2,3	-1,1	-1,9
И-Л	-0,2	-8,6*	4,0*	-6,0*	2,6*	2,0	0,7	-2,0	1,9	0,3	2,7*	2,7*	-0,2	-8,4*	-0,4	0,8
Е-Д	2,1	2,3*	0,9	0,9	0,8	-0,3	0,1	0,9	2,4*	1,3	3,2*	0,5	3,3*	-2,9*	-2,2	1,0
Е-М	4,8*	10,1*	6,6*	3,5*	3,7*	6,1*	1,8	0,9	4,7*	8,7*	8,3*	3,6*	-0,5	-3,2*	1,0	2,1
Е-Л	1,2	7,9*	8,3*	-4,6*	3,3*	5,8*	0,4	-1,1	4,9*	8,7*	6,1*	5,3*	-0,4	-10,0*	2,2	3,8*
Д-М	1,4	0,6	1,1	3,7*	1,2	1,1	2,6*	0,3	0,4	0,7	1,4	0,6	-1,1	-0,7	1,9	0,9
Д-Л	-0,1	0,2	1,7	-5,2*	1,0	1,1	0,4	-1,7	0,6	0,8	1,4	1,0	-1,1	-3,4*	3,4*	2,2
М-Л	-0,7	-2,4	4,6*	-6,4*	-1,7	0,01	-2,0	-1,7	1,7	0,8	0,3	2,2	0,1	-2,1	0,7	2,3

\* при P = 0,95.

В пойме р. Ива на периферии города поверхностные горизонты почв содержат больше Zn, Cr и Cu, чем почвы поймы р. Верхняя Мулянка. Подповерхностные горизонты почв поймы р. Ласьва более обогащены Zn, Pb и Mn, чем почвы р. Ива (таблица 21).

Оценку химического состава почв пойм проводили с использованием ранжированных рядов, представляющих собой геохимические ассоциации средних и усреднённых максимальных значений геохимических показателей. Геохимические показатели определяли расчётным путём.

*Коэффициенты концентрации ( $K_K$ ).* Выявить особенности региональных концентраций химических элементов в почвах пойм позволяет их сравнение с уровнем кларка. Коэффициент концентрации вычисляли по формуле 8 как отношение содержания элемента в образце почвы или наилка ( $C_i$ , мг/кг) к уровню кларка для почв мира по А.П. Виноградову [35] ( $C_{iК}$ , мг/кг).

$$K_K; K_{УФ}; K_{Ов}; K_{Оп} = \frac{C_i \text{ образец}}{C_{iКЛАРК; УФ; ПДК (ОДК) \text{ вал. / подв.}} \quad (8)$$

Валовое содержание значительной части изученных химических элементов выше кларков (приложение 6, таблицы 1, 2, 3, 4, рисунки 1–8). Значения коэффициентов концентрации и рассеивания химических элементов относительно кларка в почвах и наилках пойм малых рек г. Перми приведены в приложении 6, таблицах 5, 6, 7, 8, 9.

Средние арифметические ( $K_K$  средние) и усреднённые максимальные значения ( $K_{Kmax}$  средние) коэффициентов концентрации химических элементов в почвах пойм верхних и нижних течений рек Ива, Егошиха, Данилиха и нижнего течения р. Верхняя Мулянка промышленно-коммунальной зоны

г. Перми образуют следующие геохимические ряды:

$$K_K \text{ среднее } (n = 44) \text{ Cu } 3,9 > \text{ Zn } 3,5 > \text{ Pb } 3,2 > \text{ Ni } 3,1 > \text{ S } 2,4 > \\ \text{ Ca } 2,0 > (\text{Mg, As}) 1,3 > \text{ Mn } 1,1$$
$$K_K \text{ max среднее } \text{ Cu } 4,2 > \text{ Zn } 3,8 > \text{ Pb } 3,6 > (\text{Ni, S}) 3,5 > \text{ Cr } 3,1 > \\ \text{ Ca } 2,2 > \text{ P } 2,0 > \text{ As } 1,9 > (\text{Mn, Mg}) 1,8 > (\text{Sr, Fe}) 1,1$$

в почвах поймы р. Ласьва агропоселковой зоны геохимические ряды, следующие:

$$K_K \text{ среднее } (n = 13) \text{ Pb } 6,4 > \text{ Zn } 2,9 > \text{ Cu } 2,3 > \text{ Ca } 1,8 > \text{ As } 1,6 > \\ \text{ Ni } 1,5 > \text{ Mn } 1,4 > \text{ P } 1,2 > (\text{Fe, Ti, K}) 1,1$$
$$K_K \text{ max среднее } \text{ Pb } 10,8 > \text{ Zn } 7,4 > \text{ Ca } 4,1 > (\text{Cu, Mn}) 3,1 > \text{ As } 3,0 > \\ \text{ Ni } 2,3 > \text{ P } 1,9 > \text{ Mg } 1,5 > \text{ S } 1,3 > (\text{Fe, Ti, K}) 1,2 > \text{ Sr } 1,1$$

Почвы пойм малых рек г. Перми можно рассматривать как региональные полиэлементные геохимические аномалии ТЭ. Повышенные концентрации Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, As, Mn, S и P в аллювиальных почвах по сравнению с эталонами сравнения объясняются влиянием не только местных геологических условий, но и мощным антропогенным воздействием на пойменные экосистемы. Так, например, Б.М. Осовецким [219] установлено, что Zn, Ni и Pb являются типичными техногенными токсикантами русловых осадков р. Данилиха. Не случайно территория г. Перми и его пригородов характеризуется некоторыми учеными как природно-техногенная Среднекамская литогеохимическая аномальная зона [152] (приложение 7). Наиболее высокие значения  $K_K$  в ассоциациях имеют халькофильные элементы, обладающие высокой технофильностью и токсичностью. Строительный мусор, антигололедные средства и др., а также карбонатность коренных пород в долинах рек оказывают влияние на накопление в почвах пойм Ca и Mg.

Ряды геохимических ассоциаций максимальных значе-

ний  $K_{K \max}$  химических элементов в почвах пойм малых рек левобережной и правобережной части г. Перми представлены в таблицах 22, 23. Полиэлементные природно-антропогенные геохимические аномалии почв выявляли и оценивали с помощью коэффициентов  $N_X$  и  $R_X$  по методике Е.П. Янина [317]:

*Число присутствующих ТЭ в ассоциации ( $N_X$ ):* при наличии менее 10 ТЭ – ассоциации узкие; свыше 10 – широкие.

*Уровень накопления ТЭ в ассоциациях* оценивали по значениям  $K_K$  как: высокий (более 10); средний (10 – 2); слабый (2 – 1).

*Коэффициент интенсивности аномалии ( $R_X$ )* определяли как среднее арифметическое суммы значений  $K_K$ . Интенсивность аномалии характеризовали как слабую (при  $R_X$  менее 2,5), среднюю ( $R_X$  2,5 – 5,0) и высокую ( $R_X$  выше 5,0).

*Интенсивность аномалии с учётом токсичности элементов* рассчитывали с помощью предлагаемого нами коэффициента  $R_{XT}$  (уравнение 9).

$$R_{XT} = \Sigma (K_{Ki} \cdot K_{Ti}) : n \quad (9)$$

где  $K_{Ti}$  – коэффициент токсичности  $i$ -го элемента. Для элементов первого класса опасности (мышьяк, свинец, цинк)  $K_{Ti}$  равен 1,5, для элементов второго класса (никель, медь, хром) равен 1,0 и для элементов третьего класса (марганец, стронций) равен 0,5. Для элементов с неопределённым классом опасности  $K_{Ti}$  равен 1,0.

Почвы и наилки поймы р. Малая Ива, в соответствии с  $K_{K \max}$ , имеют узкие полиэлементные геохимические аномалии с числом присутствующих элементов  $N_{\Sigma} = 7$ . Интенсивность аномалии в почвах поймы этой реки слабая ( $R_X$  1,6-2,1;  $R_{XT}$  1,9-2,3), а в наилках средняя ( $R_X$  2,7;  $R_{XT}$  2,9 единиц) (таблица 22). Формирование геохимических ассоциаций в поймах речных долин на южной окраине города обусловлено в основном литогенным фактором.

Таблица 22

Ряды геохимических ассоциаций  $K_{K \max}$  химических элементов в почвах пойм малых рек г. Перми

Пойма реки	уровень $K_{K \max}$ : <b>высокий</b> > 10; <b>средний</b> 10–2; <b>слабый</b> 2–1	$N_{\Sigma}$	$R_X$	$R_{Xr}$
<b>наилки пойм верхних течений рек</b>				
р. Ива	$Cu_{7,6} Pb_{2,7} Zn_{2,0} Ni_{1,9} Ca_{1,6} Mn_{1,5} Mg_{1,4}$	7	2,7	2,9
р. Егошиха	$Zn_{5,8} Pb_{5,7} Mn_{5,3} Cu_{4,5} Ni_{4,2} Ca_{3,2} P_{2,6} Cr_{2,1} As_{1,8} Fe_{1,4} S_{1,3} Ti_{1,1}$	12	3,3	3,6
р. Данилиха	$Cu_{18,1} Ni_{12,9} Zn_{9,4} Pb_{8,7} Mg_{7,3} Ca_{5,7} Cr_{2,1} (S,Mn)_{2,0} As_{1,6} Fe_{1,4}$	11	6,5	7,3
<b>наилки пойм нижних течений рек</b>				
р. Ива	$Cu_{5,2} Pb_{4,3} Zn_{3,3} Ni_{3,0} Ca_{2,7} Mn_{2,4} As_{2,2} Mg_{1,7} S_{1,4} (Fe,Cr)_{1,2} (Ti,K)_{1,1}$	13	2,4	2,7
р. Егошиха	$Ni_{7,3} Cu_{6,5} Zn_{6,4} Mg_{5,6} Pb_{5,3} S_{4,9} Ca_{3,9} P_{3,3} Cr_{2,6} As_{1,8} Mn_{1,4} Fe_{1,1}$	12	4,2	4,7
р. Данилиха	$Cu_{11,0} Zn_{8,7} Ni_{7,0} Pb_{6,8} Ca_{5,5} S_{2,9} (P,As)_{2,6} Mg_{2,5} Mn_{2,0} (Fe,Cr)_{1,3} Si_{1,1}$	13	4,3	4,9
<i>среднее</i>	$Cu_{8,8} Ni_{6,1} Zn_{5,9} Pb_{5,6} Ca_{3,8} Mg_{3,7} P_{2,8} S_{2,5} Mn_{2,4} As_{2,0} Cr_{1,9} Fe_{1,3} (Ti,K,Si)_{1,1}$			
<b>серогумусовые горизонты почв пойм верхних течений рек</b>				
р. Ива	$Cu_{4,3} Pb_{2,1} Zn_{2,3} Ni_{1,3} Mn_{1,7} Mg_{1,9} Ti_{1,1}$	7	2,1	2,3
р. Егошиха	$Cu_{2,8} Mn_{2,3} (Zn,Pb)_{1,7} Ni_{1,6} Ca_{1,5} S_{1,3} P_{1,2} Fe_{1,1}$	9	1,7	1,8
р. Данилиха	$Pb_{3,1} Ni_{2,9} Zn_{2,8} Cu_{2,7} Mg_{1,4} (Ca,K)_{1,1}$	7	2,2	2,6
<b>урбо-серогумусовые горизонты почв пойм нижних течений рек</b>				
р. Ива	$Cu_{4,8} Pb_{4,3} Zn_{3,6} Ni_{2,7} (Ca,As)_{2,2} Mg_{2,0} Mn_{1,8} (Fe,S)_{1,2} (Ti,K,Cr)_{1,1}$	13	2,3	2,6
р. Егошиха	$Zn_{9,2} Ni_{8,5} Cu_{7,2} Pb_{6,0} Ca_{3,4} Mg_{2,7} Cr_{2,6} P_{2,5} (Mn,As)_{1,8} S_{1,4} Fe_{1,2}$	12	4,0	4,6
р. Данилиха	$Pb_{9,0} Zn_{7,0} Ni_{6,6} Cu_{6,1} Cr_{3,1} Ca_{2,8} P_{2,0} S_{1,8} Mg_{1,5} As_{1,4}$	10	4,1	5,0
р. В. Мулянка	$(P,Cu)_{2,8} Mn_{2,7} Ca_{2,6} Pb_{2,5} Zn_{2,2} Ni_{2,0} Mg_{1,9} S_{1,3} (Sr,Fe)_{1,1}$	11	2,1	2,1
<i>среднее</i>	$Cu_{4,4} (Pb,Zn)_{4,1} Ni_{3,7} (Ca,Mn,Cr)_{2,3} P_{2,1} Mg_{1,9} As_{1,8} S_{1,4} Fe_{1,2} (Ti,K,Sr)_{1,1}$			
<b>глеевые горизонты почв пойм нижних течений рек</b>				
р. Ива	$Pb_{4,4} Cu_{3,1} As_{2,6} S_{2,3} Ni_{2,1} Zn_{1,8} Ca_{1,7} Mg_{1,5} (Sr,K)_{1,1}$	10	2,2	2,6
р. Егошиха	$S_{11,4} Ni_{7,8} Zn_{7,5} Cu_{7,3} Pb_{6,2} Ca_{3,0} As_{2,8} Cr_{2,1} Mg_{1,9} P_{1,7} Fe,K_{1,1}$	12	4,5	5,2
р. Данилиха	$S_{12,6} Cu_{12,3} Ni_{12,0} Zn_{8,0} Cr_{7,2} Pb_{5,7} P_{3,9} As_{2,6} Ca_{2,4} Mg_{1,4} Mn_{1,2}$	11	6,3	7,0
р. В. Мулянка	$S_{4,1} Cu_{3,3} P_{3,0} Zn_{2,9} Ca_{2,4} Pb_{2,0} Ni_{1,9} As_{1,8} Mg_{1,6} Mn_{1,3} Fe_{1,1}$	11	2,3	2,6
<i>среднее</i>	$S_{7,6} Cu_{6,5} Ni_{6,0} Zn_{5,1} Cr_{4,7} Pb_{4,6} P_{2,9} As_{2,5} Ca_{2,4} Mg_{1,6} Mn_{1,3} (Fe,K,Sr)_{1,1}$			
<b>слои аллювия почв пойм верхних течений рек</b>				
р. Ива	$Cu_{3,5} Ni_{1,8} Zn_{1,3} (Ti,As)_{1,2} (K,Pb)_{1,1}$	7	1,6	1,9
р. Егошиха	$(Mn,As)_{1,8} Zn_{1,6} Cu_{1,5} Ca_{1,4} Ni_{1,3} Pb_{1,2} Sr_{1,1}$	8	1,5	1,6
р. Данилиха	$Cu_{1,7} Pb_{1,5} Mg_{1,4} (Ni,Zn)_{1,3} K_{1,2} (Ti,Zr)_{1,1}$	8	1,3	1,5
<b>слои аллювия почв пойм нижних течений рек</b>				
р. Ива	$S_{2,9} Cu_{2,7} Zn_{1,8} Ca_{1,7} Ni_{1,5} Mg,As_{1,4}$	7	1,9	2,1
р. Егошиха	$Ni_{7,0} Zn_{6,9} Cu_{6,2} Pb_{4,6} Cr_{2,3} (Mg,Ca,S)_{1,5} K_{1,1}$	9	3,6	4,3
р. В. Мулянка	$Cu_{3,5} Ca_{2,6} Zn_{2,3} (P,Mg,Pb)_{2,1} Ni_{2,0} S_{1,9} As_{1,6} Mn_{1,3}$	10	2,2	2,4
<i>среднее</i>	$Cu_{3,2} (Ni,Zn)_{2,5} Cr_{2,3} (S,P,Pb)_{2,1} Ca_{1,8} (Mg,Mn)_{1,6} As_{1,5} (K,Sr,Ti,Zr)_{1,1}$			
среднее для почв	$Cu_{4,2} Zn_{3,8} Pb_{3,6} (Ni,S)_{3,5} Cr_{3,1} Ca_{2,2} P_{2,0} As_{1,9} (Mn,Mg)_{1,8} (Sr,Fe,Ti,K)_{1,1}$			

Примечание: курсивом выделены повсеместно присутствующие элементы

Содержание химических элементов в почве и наилках поймы р. Малая Ива принято за условно фоновое. В ассоциациях  $K_{K \max}$  среднего уровня накопления достигают Cu, Pb и Zn и слабого Ni, Ca, Mn и Mg.

В наилках поймы верхнего течения р. Егошиха формируются широкие ассоциации  $K_{K \max}$  ( $N_{\text{Э}} = 12$ ) со средним уровнем накопления химических элементов и средней интенсивностью аномалий ( $R_X 3,3$ ;  $R_{XТ} 3,3$ ). Наилки поймы верхнего течения р. Данилиха имеют широкие ассоциации  $K_{K \max}$  ( $N_{\text{Э}} = 11$ ), в которых Cu и Ni достигают высокого уровня накопления. Интенсивность аномалии наилок согласно коэффициентам  $K_{K \max}$  высокая ( $R_X 6,5$ ;  $R_{XТ} 7,3$ ).

В горизонтах AУg,X и в слоях аллювия C1g<sup>~</sup>,x почв пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха ассоциации  $K_{K \max}$  узкие ( $N_{\text{Э}} 7-9$ ) со слабым и средним уровнем накопления. Интенсивность аномалий слабая ( $R_X 1,3-2,2$ ), а с учётом токсичности ТЭ достигает средних значений ( $R_{XТ} 1,5-2,6$ ).

В наилках, гумусовых и глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка формируются природно-техногенные полиэлементные аномалии. Характеристики геохимических ассоциаций по значениям  $K_{K \max}$  имеют свои особенности. Наилки поймы реки Ива имеют широкую ассоциацию  $K_{K \max}$  химических элементов ( $N_{\text{Э}} = 13$ ), уровень накопления элементов средний, но интенсивность аномалии слабая ( $R_X 2,4$ ), а с учётом токсичности ТЭ – средняя ( $R_{XТ} 2,7$ ).

В поверхностных горизонтах почв пойм рек Ива и Верхняя Мулянка ассоциации  $K_{K \max}$  широкие ( $N_{\text{Э}} 11-13$ ), уровень накопления у многих химических элементов средний. Интенсивность аномалий, согласно значениям  $K_{K \max}$ , слабая ( $R_X 2,1-2,3$ ), а с учётом токсичности ТЭ достигает средних значений ( $R_{XТ} 2,1-2,6$ ).

В глеевых горизонтах почв пойм рек Ива и Верхняя Мулянка ассоциации  $K_{K \max}$  химических элементов широкие ( $N_{\text{Э}} =$

10-11). Уровень накопления химических элементов достигает средних значений. Интенсивность аномалий слабая ( $R_X$  2,2-2,3), а с учётом токсичности ТЭ достигает средних значений ( $R_{ХТ}$  2,1-2,6).

В глееватых слоях аллювия почв поймы р. Ива ассоциации  $K_{K \max}$  химических элементов узкие ( $N_{Э} = 7$ ), а в пойме р. Верхняя Мулянка широкие ( $N_{Э} = 10$ ). Уровень накопления химических элементов согласно  $K_{K \max}$  достигает слабых и средних значений. Интенсивность аномалий в слоях аллювия почв пойм нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка, в соответствии со значениями  $K_{K \max}$ , слабая ( $R_X$  1,9-2,2;  $R_{ХТ}$  2,1-2,4).

Более напряженная эколого-геохимическая ситуация сформировалась в речных долинах на территории центральной части города. В поймах и наилках нижних течений рек Егошиха и Данилиха формируются природно-техногенные полиэлементные аномалии. Геохимические ассоциации характеризуются следующими параметрами.

В наилках поймы р. Егошиха формируются широкие ассоциации  $K_{K \max}$  ( $N_{Э} = 12$ ) со средним уровнем накопления ТЭ и средней интенсивностью аномалий ( $R_X$  4,2;  $R_{ХТ}$  4,7). Наилки поймы р. Данилиха имеют широкие ассоциации  $K_{K \max}$  ( $N_{Э} = 13$ ), в которых Си достигает высокого уровня накопления. Интенсивность аномалии наилок согласно коэффициентам  $K_{K \max}$  средняя ( $R_X$  4,3;  $R_{ХТ}$  4,9).

В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм рек Егошиха и Данилиха ассоциации  $K_{K \max}$  широкие ( $N_{Э}$  10-12), уровень накопления у многих ТЭ достигает средних значений. Интенсивность аномалий, согласно значениям  $K_{K \max}$ , средняя ( $R_X$  4,0-4,1;  $R_{ХТ}$  4,6-5,0).

В глеевых горизонтах почв пойм рек Егошиха и Данилиха ассоциации  $K_{K \max}$  ТЭ широкие,  $N_{Э} = 11-12$ . Уровень накопления ТЭ, согласно  $K_{K \max}$ , в глеевых горизонтах почв пойм этих рек достигает высоких (S, Си и Ni) и средних (Zn,

Pb, P, Ni, Ca, As, Cr, Cu) значений. Интенсивность аномалий в глеевых горизонтах почв пойм у р. Егошиха средняя ( $R_X$  4,5), а с учётом токсичности ТЭ – высокая ( $R_{ХТ}$  5,2), а у р. Данилиха высокая ( $R_X$  6,3;  $R_{ХТ}$  7,0).

В глееватых слоях аллювия почв поймы р. Егошиха ассоциации  $K_{K \max}$  химических элементов узкие ( $N_{Э}$  9). Уровень накопления ТЭ, согласно  $K_{K \max}$ , достигает средних значений. В соответствии со значениями  $K_{K \max}$  интенсивность аномалий в слоях аллювия почв поймы р. Егошиха средняя ( $R_X$  3,6;  $R_{ХТ}$  4,3).

Оценка параметров геохимических ассоциаций показала, что в поймах нижних течений рек Егошиха и Данилиха образуются почвенные геохимические аномалии. Источниками твердофазового и ионного гидрогенного загрязнения почв пойм являются речные и подземные воды, сточные промышленные и коммунальные воды, а также воды поверхностного стока с водораздельных городских ландшафтов и автомагистралей города.

Значения  $K_{K \max}$  показывают, что в геохимических ассоциациях наилков пойм всех изученных рек присутствуют: Cu, Ni, Zn, Pb, Ca, Mn и локально Mg, P, S, As, Cr, Fe, Ti, K, Si. Концентрация Rb, Ga, Y, Zr и Al в наилках ниже кларка (приложение 6, таблица 9). В поверхностных горизонтах почв пойм всех рек ассоциации элементов, по значениям  $K_{K \max}$ , везде образуют: Cu, Pb, Zn, Ni и локально Ca, Mn, Cr, P, Mg, As, S, Fe, Ti, K, Sr. Концентрации Rb, Ga, Y, Zr, Al и Si не превышают уровень кларка. В глеевых горизонтах ассоциации  $K_{K \max}$  образуют S, Cu, Ni, Zn, Pb, As, Ca, Mg и локально Cr, P, Mn, Fe, K, Sr. Содержание Rb, Ga, Y, Zr, Al, Si и Ti ниже, чем кларка. Повсеместно в глееватых слоях аллювия в ряду  $K_{K \max}$  накапливаются Cu, Ni, Zn и локально Cr, S, P, Pb, Ca, Mg, Mn, As, K, Sr, Ti, Zr. Элементы Rb, Ga, Y и Al уровень кларка не превышают. Пониженные концентрации Rb, Ga, Y, Zr (прило-

жение 6, таблица 9) могут быть объяснены особенностями элементного химического состава материнских пород и условиями формирования литогенной фации пойменного аллювия. Подобная закономерность была ранее выявлена А.А. Васильевым [30] для почв пойм рек Кама и Обва в Среднем Предуралье.

В почвах поймы реки Ласва в агропоселковой зоне ряды геохимических ассоциаций усреднённых максимальных значений  $K_{K \max}$  химических элементов формируют широкие ( $N_{Э}$  14-15) полиэлементные аномалии со средней интенсивностью ( $R_X$  2,8-3,5;  $R_{ХТ}$  3,1-4,1) (таблица 23).

Таблица 23

Ряды геохимических ассоциаций  $K_{K \max}$  химических элементов в почвах поймы нижнего течения р. Ласва

$K_{K \max}$	уровень $K_K$ : <b>высокий</b> > 10; <b>средний</b> 10–2; <b>слабый</b> 2–1	$N_{Э}$	$R_X$	$R_{ХТ}$
наилки				
наилки	Zn <sub>16,3</sub> Ca <sub>6,9</sub> Mn <sub>5,2</sub> P <sub>4,3</sub> Cu <sub>3,0</sub> (As,Pb) <sub>2,0</sub> Ni <sub>1,8</sub> S <sub>1,7</sub> Mg <sub>1,5</sub> Sr <sub>1,4</sub> Fe <sub>1,3</sub> (Ti,K) <sub>1,1</sub>	14	3,5	4,0
горизонты почв				
AУg,ur	Zn <sub>11,0</sub> Ca <sub>5,4</sub> Mn <sub>4,6</sub> Cu <sub>3,4</sub> Ni <sub>2,1</sub> Pb <sub>2,0</sub> S <sub>1,6</sub> Mg <sub>1,5</sub> As <sub>1,4</sub> P <sub>1,3</sub> (Fe,K) <sub>1,2</sub> (Sr,Ti) <sub>1,1</sub>	14	2,8	3,1
C1g~	Pb <sub>19,6</sub> As <sub>4,6</sub> Zn <sub>3,7</sub> (Ca,Cu) <sub>2,7</sub> (P,Ni) <sub>2,4</sub> Mn <sub>1,6</sub> Mg <sub>1,5</sub> Zr <sub>1,4</sub> (Fe,Ti) <sub>1,2</sub> (Sr,K,Si) <sub>1,1</sub>	15	3,1	4,1
среднее для почв	Pb <sub>10,8</sub> Zn <sub>7,4</sub> Ca <sub>4,1</sub> (Cu,Mn) <sub>3,1</sub> As <sub>3,0</sub> Ni <sub>2,3</sub> P <sub>1,9</sub> Mg <sub>1,5</sub> S <sub>1,3</sub> (Fe,Ti,K) <sub>1,2</sub> Sr <sub>1,1</sub>			

Примечание: в наилках и каждом горизонте  $n = 5$ .

Согласно  $K_{K \max}$  в наилках высокий уровень накопления у Zn<sub>16,3</sub>, средний у Ca<sub>6,9</sub> Mn<sub>5,2</sub> P<sub>4,3</sub> Cu<sub>3,0</sub> (As, Pb)<sub>2,0</sub> и слабый у Ni<sub>1,8</sub> S<sub>1,7</sub> Mg<sub>1,5</sub> Sr<sub>1,4</sub> Fe<sub>1,3</sub> (Ti, K)<sub>1,1</sub>. В наилках кларк не превышают Zr, Si, Al, Ga, Rb, Y и Cr. Горизонты AУg,ur,x в высоком диапазоне аккумулируют Zn<sub>11,0</sub>, в среднем Ca<sub>5,4</sub> Mn<sub>4,6</sub> Cu<sub>3,4</sub> Ni<sub>2,1</sub> Pb<sub>2,0</sub> и в слабом S<sub>1,6</sub> Mg<sub>1,5</sub> As<sub>1,4</sub> P<sub>1,3</sub> (Fe, K)<sub>1,2</sub> (Sr, Ti)<sub>1,1</sub>. Содержание Si, Al, Zr, Rb, Ga, Y, Cr кларк не превышает. В глееватых слоях аллювия в высоком диапазоне накапливается Pb<sub>19,6</sub>, в среднем As<sub>4,6</sub> Zn<sub>3,7</sub> (Ca, Cu)<sub>2,7</sub> (P, Ni)<sub>2,4</sub> и в слабом Mn<sub>1,6</sub> Mg<sub>1,5</sub> Zr<sub>1,4</sub> (Fe, Ti)<sub>1,2</sub> (Sr, K, Si)<sub>1,1</sub>. Кларк не превышают S, Al, Ga, Rb, Y.

Таким образом, в аллювиальных почвах пойм верхних течений рек Малая Ива, Егошиха, Данилиха и нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка, сформированных на периферии промышленно-коммунальной зоны города, выявлены узкие и широкие полиэлементные геохимические аномалии  $K_{K \max}$  с числом присутствующих элементов  $N_{\Sigma}$  от 7 до 13. Интенсивность аномалий в почвах  $R_X$  слабая, от 1,3 до 2,3 единиц, а в наилках высокая и достигает 6,5 единиц. Полиэлементные геохимические аномалии почв пойм с повышенным содержанием Cu, Pb и Zn в основном формируются за счёт литогенного фактора и минимальной антропогенной нагрузки. В почвах пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха, сформированных в центре города, сточные промышленные и коммунальные воды, а также воды поверхностного стока с водораздельных урболандшафтов и автомагистралей города формируют широкие полиэлементные аномалии  $K_{K \max}$  со средней (от 4,0 до 4,5) и высокой (6,3) интенсивностью  $R_X$ . Концентрации Rb, Ga, Y, Zr и Al, а также локально Si и Ti ниже кларков.

В почвах поймы р. Ласьва на территории агропоселковой зоны города формируются широкие полиэлементные аномалии  $K_{K \max}$  со средней интенсивностью  $R_X$ . Концентрации Rb, Ga, Y и Al не превышают кларки.

В почвах пойм верхних течений рек ТЭ преимущественно сосредоточены в поверхностных горизонтах, а в нижнем течении ещё и в глеевых.

*Оценка загрязнения по местному фоновому геохимическому уровню для аллювиальных почв.* По сравнению с аллювиальной почвой поймы в верхнем течении р. Малая Ива, почвы пойм нижних течений рек Верхняя Мулянка и Ива загрязнены ТЭ. Почвы пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха загрязнены ещё сильнее (Приложение 6, рисунки 1–8).

**Оценка загрязнения.** Для оценки загрязнения использовались следующие показатели: индекс загрязнения ( $K_{УФ}$ ), суммарный показатель загрязнения ( $Z$ ), коэффициенты обогащения, нормированные по железу ( $EF$ ), коэффициенты опасности превышения ПДК ( $K_0$ ).

*Индекс загрязнения ( $K_{УФ}$ ).* Фоновые концентрации химических элементов были использованы для расчёта контрастности геохимических аномалий. Индекс загрязнения рассчитывали по формуле 8 как отношение содержания элемента в почвенном образце или наилке ( $C_i$ , мг/кг) к фоновому уровню ( $C_{iУФ}$ , мг/кг). Для рек техногенно нагруженных территорий условно фоновые концентрации определяют на участках, расположенных выше по течению от источников загрязнения [134]. В качестве условного фона принято содержание элементов в аллювиальной серогумусовой глееватой среднесуглинистой почве (разрез 85) и в наилках поймы верхнего течения р. Малая Ива.

В почвах пойм на территории промышленно-коммунальной зоны левобережной части г. Перми валовое содержание Zn, Pb, As, Cr, Ni, Cu, Mn, S превышает значения условного фона (приложение 6, таблицы 10–13, рисунки 1–8).

Средние арифметические ( $K_{УФ \text{ средние}}$ ) и усреднённые максимальные значения индексов загрязнения техногенными элементами ( $K_{УФ \text{ max средние}}$ ) в почвах пойм малых рек промышленно-коммунальной зоны на территории левобережной части г. Перми образуют следующие геохимические ряды:

$K_{УФ \text{ средние}}$  ( $n = 42$ ): S 3,5 > (Zn, Ni, P, Ca) 2,3 > Pb 2,1 >

As 1,5 > (Cr, Mg) 1,3 > (Cu, Sr, Mn, Fe, Y, Rb) 1,0

$K_{УФ \text{ max средние}}$ : S 5,3 > P 4,4 > Cr 3,5 > Ni 3,1 > Pb 2,8 > Zn 2,7 >

Ca 2,4 > Mg 2,1 > Cu 1,9 > As 1,8 > (Mn, Ga) 1,4 >

(Y, Rb, Zr) 1,2 > (Sr, Fe) 1,1

Ряды внутрипрофильного распределения ТЭ в почвах пойм верхних и нижних течений рек Ива, Егошиха, Данилиха

и Верхняя Мулянка имеют следующие особенности:

Наилки:  $K_{УФ}$  средние: Ni 2,8 > Zn 2,7 > (As, Ca) 2,3 > S 2,2 > P 2,1 > Pb 1,7 > Cr 1,5 > Mg 1,4 > Mn 1,3 > Fe 1,2 > (Sr, Y, Rb) 1,0 > Cu 0,9

Поверхностные горизонты:  $K_{УФ}$  средние: Ca 2,7 > Ni 2,3 > Pb 1,7 > (Zn, S, P) 1,6 > Cr 1,3 > (As, Sr) 1,1 > (Cu, Fe, Y) 1,0

Глеевые горизонты:  $K_{УФ}$  средние: S 7,3 > P 3,2 > Pb 3,1 > Zn 2,8 > (Ni, Ca) 2,0 > Mg 1,8 > (Cr, As) 1,2 > (Cu, Rb, Ga) 1,1 > Y 1,0 > (Sr, Fe, Zr) 0,9

Глееватые слои аллювия:  $K_{УФ}$  средние: (S, P) 2,5 > Mg 2,0 > Zn 1,9 > Ca 1,8 > Pb 1,7 > Ni 1,4 > Rb 1,2 > (As, Mn, Zr) 1,1

Следовательно, глеевые горизонты почв наиболее загрязнены ТЭ. Накоплению ТЭ в почвах способствует лёгкий гранулометрический состав, который определяет их высокую пористость и фильтрационную способность. Интенсивная вертикальная и горизонтальная инфильтрация загрязнённых речных вод во время половодий определяет приток ТЭ в подповерхностные горизонты почв гидрогенным путём. Выщелачиванию ТЭ из поверхностных горизонтов в нижележащие также способствуют частые колебания уровня грунтовых вод в почвах пойм [187, 306, 330, 331, 355, 367]. В то же время лёгкий гранулометрический состав почв способствует выносу ТЭ за пределы профиля [181, 355]. Источником загрязнения ТЭ поверхностных горизонтов почв пойм являются наилки [48]. Постседиментационную вторичную миграцию ТЭ в профилях почв ранее наблюдали D. Ciszewski [330, 331] в пойме р. Верхняя Одра в Польше, K. Kotková [355] в пойме р. Литавка, T. Matys Grygar [367] в пойме р. Морава в Чехии.

Усреднённые максимальные значения индексов загрязнения ( $K_{УФ \max}$  средние) позволяют отразить критический уровень загрязнения. Ряды геохимических ассоциаций  $K_{УФ \max}$  химических элементов в наилках и почвах пойм малых

рек левобережной части г. Перми представлены в таблице 24.

Суммарный показатель загрязнения ( $Z$ ) был подсчитан относительно индексов загрязнения  $K_{УФ}$  max средние по [205, 256]:

$$Z = \Sigma (K_{УФ} + \dots + K_{УФn}) - (n - 1), \quad (10)$$

где  $K_{УФ}$  – индекс загрязнения ТЭ (более 1);  $n$  – число определяемых элементов.

Уровни опасности загрязнения согласно  $Z$  таковы: менее 16 – допустимое; 16-32 – умеренно опасное; 32-128 – опасное; более 128 – чрезвычайно опасное.

Для почв пойм верхних течений рек Егошиха, Данилиха и нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка на периферии промышленно-коммунальной зоны города полиэлементные аномалии имеют следующие характеристики.

В наилках пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха у многих ТЭ уровень накопления средний, поэтому  $Z$  имеет допустимый и умеренно опасный уровень загрязнения (11 и 19 единиц соответственно).

В горизонтах АУg,X и слоях аллювия почв пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха уровень загрязнения  $Z$  допустимый (1,4-3,3 единиц).

В наилках поймы нижнего течения р. Ива только As накапливается до среднего уровня ( $K_{УФ}$  max 2,8), поэтому значение суммарного показателя загрязнения  $Z$  допустимое – 6,4 (таблица 24).

В горизонтах АУg,ur почв пойм нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка загрязнение допустимое ( $Z$  3,1–6,1 единиц).

Загрязнение глеевых горизонтов почв пойм рек Ива и Верхняя Мулянка допустимое ( $Z = 9$  и 10 единиц).

Глееватые слои аллювия почв пойм рек Ива и Верхняя Мулянка соответствуют допустимому уровню загрязнения ( $Z = 6$  единиц).

В почвах пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха в центре города полиэлементные аномалии имеют следующие характеристики.

Таблица 24

Ряды геохимических ассоциаций максимальных значений индексов загрязнения  $K_{уф\ max}$  техногенными элементами в наилках и почвах пойм рек левобережной части г. Перми

поймы рек	Уровень $K_{уф\ max}$ : высокий > 10; средний 10–2; слабый 2–1	Z
<b>наилки пойм верхних течений рек</b>		
р. Егошиха	$P_{4,5} Mn_{3,6} Zn_{2,9} Cr_{2,7} As_{2,3} Ni_{2,2} Pb_{2,1} Ca_{2,0} Fe_{1,5} S_{1,4} Rb_{1,3} Y_{1,2} Ti_{1,1}$	11,2
р. Данилиха	$Ni_{6,9} Mg_{5,1} Zn_{4,8} Ca_{3,5} Pb_{3,2} Cr_{2,7} Cu_{2,4} S_{2,1} As_{2,0} Fe_{1,5} Mn_{1,4}$	18,5
<b>наилки пойм нижних течений рек</b>		
р. Ива	$As_{2,8} (P, Ca, Mn, Zn)_{1,7} (Ni, Pb)_{1,6} (S, Cr)_{1,5} Ga_{1,4} (Y, Rb)_{1,3} (Fe, Mg)_{1,2} (Sr, Ti, K)_{1,1}$	6,4
р. Егошиха	$P_{5,8} S_{5,3} (Mg, Ni)_{3,9} Cr_{3,3} Zn_{3,2} Ca_{2,4} As_{2,3} Pb_{2,0} Ga_{1,7} (Fe, Al)_{1,1}$	15,0
р. Данилиха	$P_{4,6} Zn_{4,4} Ni_{3,7} Ca_{3,4} As_{3,3} S_{3,1} Pb_{2,5} Mg_{1,7} Cr_{1,6} (Fe, Mn, Cu)_{1,4} Si_{1,2} (Y, Ga, Rb)_{1,1}$	14,4
среднее для наилок	$P_{4,2} Ni_{3,7} Zn_{3,4} As_{3,3} Mg_{3,0} S_{2,7} Ca_{2,6} Cr_{2,4} Pb_{2,3} Mn_{2,0} Cu_{1,9} Ga_{1,4} Fe_{1,3} (Rb, Y)_{1,2} (Ti, Sr)_{1,1}$	14,7
<b>поверхностные горизонты почв пойм верхних течений рек</b>		
р. Егошиха	$P_{1,9} Ca_{1,8} S_{1,7} Mn_{1,3} (Sr, Y, Ni)_{1,2} Fe_{1,1}$	2,2
р. Данилиха	$Ni_{2,2} Ga_{1,6} Pb_{1,5} S_{1,4} Ca_{1,3} Zn_{1,2} (K, Y, Rb)_{1,1}$	3,3
среднее	$P_{1,9} Ni_{1,7} (Ca, S, Ga)_{1,6} Pb_{1,5} Mn_{1,3} (Sr, Zn)_{1,2} (Y, Rb, Fe, K)_{1,1}$	3,3
<b>поверхностные горизонты почв пойм нижних течений рек</b>		
р. Ива	$Ca_{2,7} As_{2,2} Ni_{2,1} Pb_{2,0} (S, Zn)_{1,6} (P, Cr)_{1,5} Ga_{1,4} Y_{1,3} (Sr, Fe, Rb)_{1,2} (K, Cu)_{1,1}$	6,1
р. Егошиха	$Ni_{6,4} P_{4,1} (Ca, Zn)_{4,0} Cr_{3,5} Pb_{2,9} S_{1,9} As_{1,8} Cu_{1,7} Mg_{1,4} Fe_{1,2} (Sr, Si, Ga, Mn)_{1,1}$	16,3
р. Данилиха	$Ni_{4,9} Pb_{4,3} Cr_{4,2} Ca_{3,4} P_{3,3} Zn_{3,0} S_{2,4} (Cu, As)_{1,4} (Sr, Ga)_{1,1}$	15,6
р. Мулянка	$P_{4,6} Ca_{3,1} S_{1,8} Mn_{1,6} Ni_{1,5} Sr_{1,3} (Fe, Pb)_{1,2} (Y, Rb)_{1,1}$	3,1
среднее	$(Cr, P)_{3,1} Ni_{3,0} Ca_{2,7} (Zn, Pb)_{2,4} (As, S)_{1,8} (Cu, Mg)_{1,4} (Mn, Ga)_{1,3} (Sr, Fe, Y)_{1,2} Rb_{1,1}$	10,2
<b>глиевые горизонты почв пойм нижних течений рек</b>		
р. Ива	$Pb_{4,0} S_{3,9} P_{2,3} (Ga, As)_{2,2} Mg_{2,1} Ca_{1,7} Zn_{1,4} Rb_{1,3} (Zr, Ni)_{1,2} (Si, Y, Sr)_{1,1}$	8,7
р. Егошиха	$S_{19,5} (Zn, Pb)_{5,6} P_{4,9} Ni_{4,5} Ca_{3,1} Mg_{2,7} As_{2,3} Cr_{2,2} Cu_{2,1} Ga_{1,5} (Fe, Zr, Y, Rb)_{1,1}$	35,8
р. Данилиха	$S_{21,5} P_{11,3} Cr_{7,5} Ni_{6,9} Zn_{6,0} Pb_{5,2} Cu_{3,5} Ca_{2,4} As_{2,2} Mg_{1,9} (Ga, Mn)_{1,2} Rb_{1,1}$	46,8
р. Мулянка	$P_{8,7} S_{7,0} Ca_{2,6} Mg_{2,2} Zn_{2,1} Pb_{1,8} As_{1,5} Mn_{1,3} (Ga, Rb)_{1,2} (Fe, Zr, Y, Ni)_{1,1}$	9,8
среднее	$S_{13,0} P_{6,8} Cr_{4,8} Pb_{4,2} Zn_{3,8} Ni_{3,4} Cu_{2,8} Ca_{2,5} Mg_{2,2} As_{2,0} Ga_{1,5} (Rb, Mn)_{1,2} (Zr, Y, Sr, Fe)_{1,1}$	28,2
<b>слои аллювия почв пойм верхних течений рек</b>		
р. Егошиха	$Mn_{1,9} Ga_{1,8} As_{1,5} Ca_{1,4} Zn_{1,2} (S, Pb, Rb)_{1,1}$	2,8
р. Данилиха	$Mg_{1,9} (Pb, Rb)_{1,4} Zr_{1,3} (K, Si, Y)_{1,1}$	1,4
<b>слои аллювия C1g<sup>~</sup>, X почв пойм нижних течений рек</b>		
р. Ива	$S_{4,9} Mg_{2,0} Ca_{1,8} P_{1,7} Zn_{1,3} As_{1,2} (Si, Rb)_{1,1}$	5,4
р. Егошиха	$Zn_{5,1} Pb_{4,2} Ni_{4,0} P_{2,7} S_{2,6} Cr_{2,4} Mg_{2,1} Cu_{1,8} Ca_{1,5} Rb_{1,4} (K, Zr)_{1,1}$	15,1
р. Мулянка	$P_{6,1} S_{3,3} Mg_{2,9} Ca_{2,7} Pb_{1,9} Zn_{1,7} (Mn, Ga)_{1,4} As_{1,3} (Y, Rb, Zr)_{1,2} Ni_{1,1}$	5,7
среднее	$P_{3,5} S_{3,0} Ni_{2,6} Cr_{2,4} Mg_{2,2} (Zn, Pb)_{2,1} Ca_{1,9} Cu_{1,8} (Mn, Ga)_{1,6} As_{1,3} (Rb, Zr, Y)_{1,2} (Si, K)_{1,1}$	9,9
среднее для почв	$S_{5,3} P_{4,4} Cr_{3,5} Ni_{3,1} Pb_{2,8} Zn_{2,7} Ca_{2,4} Mg_{2,1} Cu_{1,9} As_{1,8}$	15,1

Примечание: курсивом выделены элементы, присутствующие во всех ассоциациях.

В наилках пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха, у многих ТЭ уровень накопления средний, Z имеет допустимый уровень загрязнения (15 единиц).

В горизонтах АУg,ur,Х почв пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха загрязнение согласно Z умеренно опасное (16 единиц).

Загрязнение глеевых горизонтов почв пойм рек Егошиха и Данилиха, соответствует опасному уровню Z (36-47 единиц).

В глееватых слоях аллювия почв поймы нижнего течения р. Егошиха, значения Z равны 15 единицам, что соответствует допустимому уровню загрязнения.

В ассоциациях  $K_{уф\ max}$  в наилках пойм всех рек повсеместно присутствуют: Ni, Zn, S, Ca, As, Cr, Pb, Fe и локально P, Mg, Mn, Cu, Ga, Rb, Y, Si, Ti, Sr, K и Al. Ниже уровня условного фона везде отмечен: Zr.

В горизонтах АУg,Х и слоях аллювия C1g<sup>~</sup>,х почв пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха в ассоциациях  $K_{уф}$  всюду присутствуют Ni, Ca, S и локально P, Ga, Pb, Mn, Sr, Zn, Y, Rb, Fe, K. В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений всех рек в ассоциациях  $K_{уф}$  везде присутствуют Ni, P, Ca, Pb, S, Sr и точечно Cr, Zn, As, Cu, Mg, Mn, Fe, Ga, Y, Rb, K, Si. Содержание Zr и Ti условный фон не превышает.

В глеевых горизонтах ассоциации  $K_{уф}$  повсеместно содержат S, P, Pb, Zn, Ni, Ca, Mg, As, Ga, Rb и локально Cr, Cu, Mn, Zr, Si, Y, Sr, Fe. Содержание Al, K и Ti условный фон не превышает.

Повсеместно в глееватых слоях аллювия ассоциации  $K_{уф}$  содержат Rb, P, S, Ni, Cr, Zn, Pb, Mg, Ca, Cu, Mn, Ga, As, Y, Zr, K, Si. Алюминий уровень условного фона не превышает.

Таким образом, в почвах пойм верхних течений рек Егошиха, Данилиха и нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка на периферии города суммарные показатели загрязнения Z соответствуют допустимому уровню (2-10 единиц).

В почвах пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха в центре города величины суммарного показателя загрязнения  $Z$  соответствуют умеренно опасному (16 единиц) и опасному уровню (36-47 единиц).

Угрозу загрязнения техногенными элементами или техногенными магнитными частицами в составе почв и наилок пойм, находящихся в концентрациях выше уровня фона, оценивали, используя *фактор обогащения (EF)*, нормированный по железу [339, 353; 365], который рассчитывали по уравнению 11:

$$EF = \frac{C_i(\chi) / C_{Fe}}{C_i(\chi)_{\text{уф}} / C_{Fe \text{ уф}}} \quad (11)$$

где  $(C_i(\chi) / C_{Fe})$  – это отношение между фактическими концентрациями (мг/кг) элемента  $C_i$  или удельной магнитной восприимчивостью ( $\chi$ ) и железом  $C_{Fe}$  в образце, а  $(C_i(\chi)_{\text{уф}} / C_{Fe \text{ уф}})$  – это отношение их условного фонового содержания. Железо использовали в качестве эталонного фонового элемента, так как оно имеет преимущественно литогенное происхождение и его антропогенные источники минимальны. Железо как опорный фоновый элемент было выбрано по низким значениям коэффициента вариации концентрации [255], а также по высоким значениям коэффициента парной корреляции с содержанием изучаемых ТМ: Zn, Pb, As, Ni, Cu и Cr. Значения коэффициентов обогащения оценивали по шкале [397], которая включает пять категорий загрязнения:  $EF < 2$  – минимальное;  $EF 2-5$  – умеренное;  $EF 5-20$  – значительное;  $EF 20-40$  – очень высокое и  $EF > 40$  – чрезвычайно высокое загрязнение. Геохимическое нормирование концентраций ТЭ и  $\chi$  позволяет получать значения величин, приближающихся к нормальному (гауссовскому) распределению. Ненормированные геохимические характеристики почв и наилок обычно не проявляют гауссовского распределения [339].

*Коэффициенты (EF) обогащения ТЭ, нормированные по железу*, представлены в таблицах 14-17 приложения 6. Средние арифметические и усреднённые максимальные значения

коэффициентов EF обогащения ТЭ, нормированных по железу, для почв пойм верхних и нижних течений рек промышленно-коммунальной зоны левобережной части города Перми составили следующие геохимические ряды:

EF<sub>средние</sub> (n = 42): S 3,7 > P 2,5 > (Zn, Ca) 2,3 > (Ni, Pb) 2,2 > (As, Mg) 1,4 > Cr 1,3 > (Cu, Sr, Y, Rb) 1,0.

EF<sub>max средние</sub>: S 5,3 > P 3,9 > Ni 2,8 > (Pb, Zn) 2,6 > Ca 2,4 > Cr 1,9 > Mg 1,7 > As 1,5 > Ga 1,3 > (Cu, Rb) 1,2 > (Sr, Y, Zr, Mn, Si, K) 1,1.

В почвах пойм верхних течений рек Егошиха, Данилиха и нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка на территории промышленно-коммунальной зоны периферии города максимальные значения EF находятся в диапазоне от незначительного до умеренного обогащения, что указывает на смешанное геогенное и антропогенное происхождение химических элементов. В глееватом слое аллювия почвы поймы нижнего течения р. Ива значительным диапазоном обогащения характеризуется только сера (6,0). Глеевые горизонты почв поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка значительно обогащены не только серой (6,6), но и фосфором (8,3) (таблица 25). Значительное обогащение серой и фосфором почв пойм этих рек может быть связано с влиянием сточных вод. В почвах пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха значения EF варьируют в интервале от незначительного до значительного обогащения. Очень высокий диапазон обогащения – 25, был установлен для единичного значения концентрации в почве серы. Значительное и очень высокое обогащение ТЭ почв пойм нижних течений рек в центре г. Перми связано с деятельностью человека. В малые реки города сбрасываются промышленные и коммунальные воды, поступает поверхностный сток с урболандшафтов [88].

Порядок расположения элементов в геохимических рядах EF и  $K_{уф}$  показывает, что S, Zn, Ni, P, Ca, Pb, As, Cr и Mg имеют антропогенное происхождение, а Cu, Sr, Mn, Fe, Y, Rb, Ga и Zr – природно-антропогенное.

Таблица 25

Ряды геохимических ассоциаций максимальных значений коэффициентов ЕF обогащения техногенными элементами почв и наилок пойм малых рек левобережной части г. Перми

поймы рек	Уровень обогащения EF: < 2 – минимальное; EF 2–5 – умеренное; EF 5–20 – значительное; EF 20–40 – очень высокое и EF > 40 – чрезвычайно высокое загрязнение
<b>наилки пойм верхних течений рек</b>	
р. Егошиха	P <sub>3,0</sub> Mn <sub>2,4</sub> (Zn,As) <sub>2,0</sub> Cr <sub>1,8</sub> Ni <sub>1,5</sub> Pb <sub>1,4</sub> Ca <sub>1,3</sub>
р. Данилиха	Ni <sub>4,6</sub> Mg <sub>3,5</sub> Zn <sub>3,2</sub> Ca <sub>2,4</sub> Pb <sub>2,2</sub> (Cr,As) <sub>1,8</sub> Cu <sub>1,6</sub> S <sub>1,4</sub>
<b>наилки пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	As <sub>3,1</sub> Ni <sub>1,6</sub> Ca <sub>1,5</sub> (P,S,Mn,Zn,Cr) <sub>1,4</sub> Pb <sub>1,3</sub> (Ga,Rb,Mg) <sub>1,2</sub> Y <sub>1,1</sub>
р. Егошиха	P <sub>5,5</sub> S <sub>5,1</sub> Mg <sub>3,8</sub> Ni <sub>3,7</sub> (Cr,Zn) <sub>3,1</sub> As <sub>2,9</sub> Ca <sub>2,1</sub> Pb <sub>1,9</sub> Ga <sub>1,6</sub>
р. Данилиха	S <sub>4,1</sub> Ni <sub>3,4</sub> P <sub>3,3</sub> Zn <sub>3,2</sub> As <sub>3,1</sub> (Pb,Mg) <sub>2,9</sub> Cr <sub>2,7</sub> Ca <sub>2,4</sub> Si <sub>2,0</sub> Sr <sub>1,5</sub> Rb <sub>1,3</sub> Cu <sub>1,1</sub>
среднее для наилок	Ni <sub>3,0</sub> P <sub>2,7</sub> (Zn,S,As) <sub>2,6</sub> Mg <sub>2,3</sub> Cr <sub>2,2</sub> (Ca,Pb) <sub>1,9</sub> Mn <sub>1,3</sub>
<b>поверхностные горизонты почв пойм верхних течений рек</b>	
р. Егошиха	P <sub>1,8</sub> (Ca,S) <sub>1,6</sub> Mn <sub>1,3</sub> (Y,Sr,Ni) <sub>1,1</sub>
р. Данилиха	Ni <sub>2,3</sub> Ga <sub>1,8</sub> Pb <sub>1,6</sub> (S,Ca) <sub>1,5</sub> Zn <sub>1,3</sub> (Rb,Y,K) <sub>1,2</sub> (Zr,Si) <sub>1,1</sub>
среднее	Ni <sub>1,7</sub> S <sub>1,6</sub> Ca <sub>1,5</sub> P <sub>1,4</sub> (Pb,Y,Ga) <sub>1,2</sub> Rb <sub>1,1</sub>
<b>поверхностные горизонты почв пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	Ca <sub>2,3</sub> As <sub>2,1</sub> (Ni,Pb) <sub>1,8</sub> Cr <sub>1,5</sub> (S,Zn) <sub>1,4</sub> P <sub>1,3</sub> (Ga,Y) <sub>1,2</sub> (Sr,Rb,Mg,Al,Si,K) <sub>1,1</sub>
р. Егошиха	Ni <sub>6,8</sub> Zn <sub>4,2</sub> Cr <sub>3,7</sub> P <sub>3,6</sub> Ca <sub>3,4</sub> Pb <sub>2,4</sub> S <sub>1,7</sub> As <sub>1,6</sub> Cu <sub>1,4</sub> (Mg,Sr,Si) <sub>1,2</sub>
р. Данилиха	Ni <sub>5,2</sub> Ca <sub>4,6</sub> Pb <sub>4,5</sub> Cr <sub>4,4</sub> P <sub>3,5</sub> S <sub>3,3</sub> Zn <sub>3,2</sub> As <sub>2,2</sub> Sr <sub>1,6</sub> (Cu,Si) <sub>1,5</sub> Ga <sub>1,3</sub> K <sub>1,2</sub> (Rb,Y,Al) <sub>1,1</sub>
р. Мулянка	P <sub>4,4</sub> Ca <sub>3,0</sub> S <sub>1,7</sub> Ni <sub>1,5</sub> Mn <sub>1,4</sub> Sr <sub>1,1</sub>
среднее	Ni <sub>3,8</sub> Ca <sub>3,3</sub> P <sub>3,2</sub> Cr <sub>2,5</sub> (Zn,Pb) <sub>2,4</sub> S <sub>2,0</sub> As <sub>1,6</sub> (Sr,Si) <sub>1,2</sub> (Cu,K,Y) <sub>1,1</sub>
<b>глеевые горизонты почв пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	S <sub>4,7</sub> Pb <sub>4,4</sub> Mg <sub>2,6</sub> Ga <sub>2,5</sub> (P,As) <sub>2,4</sub> Ca <sub>2,0</sub> Zn <sub>1,6</sub> Rb <sub>1,4</sub> (Zr,Ni,Si) <sub>1,3</sub> (Cr,Sr,Y,Al,K) <sub>1,2</sub>
р. Егошиха	S <sub>19,1</sub> Zn <sub>5,8</sub> Pb <sub>5,3</sub> P <sub>5,0</sub> Ni <sub>4,6</sub> Ca <sub>3,0</sub> Mg <sub>2,6</sub> As <sub>2,3</sub> Cr <sub>2,2</sub> Cu <sub>2,0</sub> Ga <sub>1,5</sub> Rb <sub>1,2</sub> (Zr,Y,Si) <sub>1,1</sub>
р. Данилиха	S <sub>24,6</sub> P <sub>12,9</sub> Cr <sub>8,5</sub> Ni <sub>7,8</sub> Zn <sub>6,8</sub> Pb <sub>5,9</sub> Cu <sub>4,0</sub> As <sub>3,5</sub> Mg <sub>3,0</sub> Ca <sub>2,8</sub> Ga <sub>2,0</sub> Mn <sub>1,9</sub> (Rb,Si) <sub>1,5</sub> K <sub>1,4</sub> Sr <sub>1,3</sub> (Zr,Y,Al) <sub>1,2</sub>
р. Мулянка	P <sub>8,3</sub> S <sub>6,6</sub> Ca <sub>2,6</sub> (Mg,Zn) <sub>2,3</sub> Pb <sub>1,7</sub> As <sub>1,6</sub> Rb <sub>1,3</sub> (Ni,Mn,Y,Ga,Zr) <sub>1,2</sub> Si <sub>1,1</sub>
среднее	S <sub>13,7</sub> P <sub>7,1</sub> Pb <sub>4,3</sub> Zn <sub>4,1</sub> Ni <sub>3,7</sub> Cr <sub>3,1</sub> (Ca,Mg) <sub>2,6</sub> As <sub>2,4</sub> Cu <sub>2,0</sub> Ga <sub>1,8</sub> (Rb,Si) <sub>1,3</sub> (Zr,Y,Mn,K) <sub>1,2</sub> (Sr,Al) <sub>1,1</sub>
<b>слои аллювия почв пойм верхних течений рек</b>	
р. Егошиха	Mn <sub>1,8</sub> Ga <sub>1,7</sub> As <sub>1,5</sub> Ca <sub>1,4</sub> Zn <sub>1,2</sub> (S,Pb,Rb) <sub>1,1</sub>
р. Данилиха	Mg <sub>2,2</sub> (Pb,Rb) <sub>1,6</sub> Zr <sub>1,5</sub> (K,Y) <sub>1,3</sub> (Zn,Si) <sub>1,2</sub> (Ti,Al) <sub>1,1</sub>
<b>слои аллювия C1g<sup>~</sup>, X почв пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	S <sub>6,0</sub> Mg <sub>2,4</sub> (Ca,P) <sub>2,1</sub> Zn <sub>1,6</sub> (As,Si) <sub>1,4</sub> Rb <sub>1,3</sub> (Cr,Sr,Zr,Al) <sub>1,2</sub> (Ni,Mn) <sub>1,1</sub>
р. Егошиха	Zn <sub>5,3</sub> Pb <sub>4,3</sub> Ni <sub>4,2</sub> P <sub>2,8</sub> S <sub>2,7</sub> Cr <sub>2,5</sub> Mg <sub>2,2</sub> Cu <sub>1,8</sub> Ca <sub>1,6</sub> Rb <sub>1,4</sub> (K,Zr) <sub>1,1</sub>
р. Мулянка	P <sub>5,9</sub> S <sub>3,2</sub> Mg <sub>2,8</sub> Ca <sub>2,6</sub> Pb <sub>1,8</sub> Zn <sub>1,7</sub> Mn <sub>1,4</sub> (Ga,As) <sub>1,3</sub> Zr <sub>1,2</sub> (Y,Rb,Ni) <sub>1,1</sub>
среднее	S <sub>4,0</sub> P <sub>3,6</sub> Zn <sub>2,9</sub> Mg <sub>2,5</sub> Pb <sub>2,3</sub> (Ca,Ni) <sub>2,1</sub> (Cr,Rb) <sub>1,3</sub> (Cu,Zr) <sub>1,2</sub> (As,Y,Al,Si,K) <sub>1,1</sub>
среднее для почв	S <sub>5,3</sub> P <sub>3,9</sub> Ni <sub>2,8</sub> (Pb,Zn) <sub>2,6</sub> Ca <sub>2,4</sub> Cr <sub>1,9</sub> Mg <sub>1,7</sub> As <sub>1,5</sub> Ga <sub>1,3</sub> (Cu,Rb) <sub>1,2</sub> (Sr,Y,Zr,Mn,Si,K) <sub>1,1</sub>

Примечание: курсивом выделены элементы, присутствующие во всех ассоциациях.

Один из механизмов твердофазного загрязнения почв пойм можно описать следующим образом. В межень химические элементы сорбируются донным илом. В половодье и паводок течение рек взмучивает донный ил. Паводковые речные воды переносят частицы ила и осаждают их в виде наилок на поверхности пойм. Почвы пойм, сформированные на аллювии с включением донных илов, наследуют их химический состав [123, 268, 302, 311, 331]. При размывании загрязнённых участков пойм, частицы аллювиальных почв, обогащённые ТЭ, вовлекаются в новый цикл седиментации [159, 178, 179, 184, 186, 310, 322, 331, 356]. Интенсивность поступления химических элементов из наилок в поверхностные горизонты почв пойм отражают коэффициенты загрязнения поверхностных горизонтов почв  $K_{зпгв}$  (приложение 6, таблица 18).

Загрязнение наилками поверхностных горизонтов почв выявляли с помощью *коэффициентов загрязнения поверхностных горизонтов ( $K_{зпгв}$ )*, представляющих собой отношения валового содержания ТЭ в наилках к их содержанию в поверхностных горизонтах почв пойм [48].

Значения  $K_{зпгв}$  показывают, что в поверхностные горизонты почв пойм рек Ива, Егошиха и Данилиха в составе твёрдой фазы наилок поступают: повсеместно  $Ni_{3,0} Cu_{2,8} Ca_{2,5} Pb_{2,3}$ ; локально:  $Mg_{4,5} P_{3,7} Cr_{3,5} Zn_{3,0} S_{2,4} (Mn, As)_{2,0} (Fe, Ga, Y)_{1,4} Ti_{1,3} (Rb, Zr, K, Al)_{1,2} (Si, Sr)_{1,1}$  (приложение 6, таблица 19, 20). В глеевые горизонты почв пойм нижних течений рек ТЭ поступают в ионной форме из речных и грунтовых вод.

В пойме р. Ласьва интенсивность поступления химических элементов в составе твёрдой фазы наилок в поверхностные горизонты почв в соответствии с  $K_{зпгв}$ : высокая у  $Zn_{10,3}$ , средняя у  $Ca_{7,6} P_{6,4} Mn_{5,4} Ga_{4,3} S_{2,6} As_{2,0}$  и слабая у  $(Cu, Sr)_{1,9} Pb_{1,8} Mg_{1,4} Ni_{1,3} Rb_{1,2} (K, Fe)_{1,1}$  (приложение 6, таблица 19, 20).

*ПДК и  $K_{Oв}$ .* Коэффициент опасности элемента относительно его валового содержания ( $K_{Oв}$ ) подсчитывали по формуле 8 как отношение содержания элемента в почвенном образце или наилке ( $C_i$ , мг/кг) к его ПДК (ОДК) для валового содержания ( $C_{ПДК(ОДК) \text{ вал.}}$ , мг/кг). ПДК (ОДК) для валового содержания оценивали по следующим значениям: Pb 32, As 2, Mn 1500, S 160 мг/кг [256]; для Zn 100, Ni 85, Cu 55 мг/кг [122], Cr 100 мг/кг [2, 22, 220]. Категорию загрязнения почв по валовому содержанию ТМ устанавливали в соответствии с [205, 256].

В почвах и наилках пойм общее содержание Zn, Pb, As, Cr, Ni, Cu, Mn, S превышает значения ПДК (приложение 6, таблицы 21-24, рисунки 1-8). Оценка геохимического состояния почв пойм по средним арифметическим значениям коэффициентов опасности валового содержания ТЭ ( $K_{Oв \text{ среднее}}$ ) была дополнена оценкой критического уровня их загрязнения ( $K_{Oв \text{ max среднее}}$ ). Средние арифметические и усреднённые максимальные значения коэффициентов опасности валового содержания ТЭ в почвах пойм образуют следующие геохимические ряды:

$$K_{Oв \text{ среднее}} (n = 57): S 10,7 > As 4,1 > Cr 1,8 > Zn 1,7 > \\ (Ni, Cu) 1,3 > Pb 1,2$$

$$K_{Oв \text{ max среднее}} (n = 19): S 13,8 > As 4,5 > Cr 2,9 > Zn 2,1 > \\ Ni 1,7 > Cu 1,6 > Pb 1,3$$

*Валовое содержание цинка* в наилках и почвах пойм представлено в приложении 6, рисунок 1. Чрезвычайно опасное загрязнение Zn наилков, согласно значениям коэффициентов опасности, выявлено в поймах верхних течений рек Данилихи,  $K_{Oв}$  4,4, и Егошихи,  $K_{Oв}$  2,9, протекающих на периферии промышленно-коммунальной зоны города, и в наилках нижних течений этих рек,  $K_{Oв \text{ max}}$  4,7 и  $K_{Oв \text{ max}}$  3,2, текущих в его центре, соответственно. Аналогичное загрязнение Zn наилков выявлено в пойме нижнего течения р. Ласьва, протекающей в агропоселковой зоне,  $K_{Oв \text{ max}}$  8,1 (приложение 6, таблица 21).

В наилках поймы верхнего течения р. Малая Ива, принятой за условный фон, концентрация валового Zn ПДК не превышает. Чрезвычайно опасное загрязнение валовым цинком наилок выявлено в пойме нижнего течения р. Ива ( $K_{Oв\ max} 1,7$ ) на периферии промышленно-коммунальной зоны города.

В гумусовых горизонтах почв пойм, согласно значениям  $K_{Oв}$ , выявлено чрезвычайно опасное загрязнение Zn: в верхнем течении у р. Данилиха  $K_{Oв} 1,4$ , у р. Ива в верхнем  $K_{Oв} 1,2$  и в нижнем течениях  $K_{Oв\ max} 1,8$  и у р. Верхняя Мулянка в нижнем течении  $K_{Oв\ max} 1,1$  (приложение 6, таблица 22). Более высокая нагрузка по валовому цинку установлена в поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек: Ласьва  $K_{Oв\ max} 5,5$ , Данилиха  $K_{Oв\ max} 3,5$  и Егошиха  $K_{Oв\ max} 2,9$ .

В глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия почв поймы р. Ива валовое содержание цинка ПДК не превышает (приложение 6, таблицы 23, 24). Чрезвычайно опасное загрязнение валовым цинком, согласно  $K_{Oв\ max}$ , выявлено в глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия почв пойм нижних течений рек: Верхняя Мулянка 1,1 и 1,4, р. Данилиха 4,0 и р. Егошиха 3,4 и 3,8 соответственно. В пойме нижнего течения р. Ласьва в глееватом слое аллювия значение  $K_{Oв\ max}$  составило 1,8 (чрезвычайно опасное загрязнение).

*Валовое содержание свинца* в наилках и почвах пойм малых рек приведено в приложении 6, рисунок 2. В поймах верхних и нижних течений рек, в соответствии со значениями коэффициентов опасности, категория загрязнения наилок общим Pb высокоопасная для р. Данилиха ( $K_{Oв} 2,1 - K_{Oв\ max} 2,7$ ) и для р. Егошиха ( $K_{Oв} 1,7 - K_{Oв\ max} 1,8$ ) (приложение 6, таблица 21). Содержание валового свинца в наилках поймы верхнего течения р. Малая Ива ПДК не превышает, а в нижнем течении  $K_{Oв\ max}$  составляет 1,3 единицы (высокоопасное загрязнение). В наилках поймы нижнего течения р. Ласьва общее содержание Pb не превышает ПДК.

В поверхностных горизонтах почв пойм верхних течений рек Малая Ива, Егошиха и Данилиха и нижних течений рек Верхняя Мулянка и Ласьва содержание валового Рb ПДК не превышает. Горизонты АУg,ur,X и АУg,ur,x почв пойм нижних течений рек Егошиха и Ива загрязнены общим свинцом до высокоопасного уровня, при этом  $K_{Oв\ max}$  равны 1,9 и 1,3 соответственно (приложение 6, таблица 22). Высокоопасное загрязнение валовым Рb выявлено в горизонтах АУg,ur,X почв поймы нижнего течения р. Данилиха –  $K_{Oв\ max}$  2,8.

Глеевые горизонты почв пойм нижних течений рек загрязнены валовым свинцом до высокоопасной категории. При этом максимальные значения коэффициентов опасности  $K_{Oв\ max}$  для р. Егошиха равны 1,9, для р. Данилиха – 1,8 и для р. Ива – 1,4 (приложение 6, таблица 23). В глеевых горизонтах почв поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка валовый свинец ПДК не превышает.

В слоях аллювия почв пойм верхних течений рек Егошихи и Данилихи, в верхнем и нижнем течении р. Ива и в нижнем течении р. Верхняя Мулянка содержание общего свинца ПДК не превышает. Высокоопасное содержание валового свинца, согласно значениям  $K_{Oв\ max}$ , выявлено в слоях аллювия почв пойм нижних течений рек Ласьвы, 6,1, и Егошихи, 1,4 (приложение 6, таблица 24).

*Содержание валового хрома* в наилках и почвах пойм малых рек показано в приложении 6, рисунок 4. Согласно значениям коэффициентов опасности, для наилок пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха  $K_{Oв}$  4,2 и р. Малая Ива  $K_{Oв}$  1,6, категория загрязнения валовым Cr чрезвычайно опасная (приложение 6, таблица 21). В поймах нижних течений рек загрязнение наилок валовым хромом также чрезвычайно опасное – в р. Егошиха  $K_{Oв\ max}$  5,1, в р. Данилиха  $K_{Oв\ max}$  2,5 и в р. Ива  $K_{Oв\ max}$  2,3 единицы. В пойме нижнего течения р. Ласьва валовый хром ПДК не превышает.

В горизонтах АУg,x и АУg,X почв пойм верхних течений рек Малая Ива и Данилиха загрязнение валовым хромом чрезвычайно опасное, значения  $K_{Oв}$  составляют 1,5 и 1,4 соответственно (приложение 6, таблица 22). В поверхностном горизонте почвы поймы верхнего течения р. Егошиха валовый хром ПДК не превышает. Чрезвычайно опасная категория загрязнения валовым хромом согласно значениям  $K_{Oв\ max}$  выявлена в поверхностных горизонтах почв пойм в нижнем течении рек Данилиха (6,3), Егошиха (5,3), Ива (2,2) и Ласьва (1,2). В поверхностных горизонтах почв поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка валовый хром ПДК не превышает.

В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек чрезвычайно опасное загрязнение валовым хромом выявлено для р. Данилиха ( $K_{Oв\ max}$  14,4) и р. Егошиха ( $K_{Oв\ max}$  4,2) (приложение 6, таблица 23). В пойме нижнего течения реки Ива в горизонтах G<sup>~</sup>,X почв для валового хрома выявлен чрезвычайно опасный уровень загрязнения ( $K_{Oв\ max}$  1,9). В горизонте G<sup>~</sup>,X почвы поймы нижнего течения реки Верхняя Мулянка валовый хром ПДК не превышает.

В глееватых слоях аллювия почв пойм верхних течений рек загрязнение общим хромом чрезвычайно опасное, значения  $K_{Oв}$  составили для рек: Малая Ива 1,9, Егошиха 1,3, Данилиха 1,1, а в поймах нижних течений рек величины  $K_{Oв\ max}$  равны для р. Егошиха 4,6 и р. Ива 1,9 (приложение 6, таблица 24). В слоях аллювия почв поймы р. Верхняя Мулянка валовый хром ПДК не превышает. В пойме нижнего течения р. Ласьва в глееватых слоях аллювия почв загрязнение валовым Cr чрезвычайно опасное ( $K_{Oв\ max}$  2,1).

*Содержание общего мышьяка* в наилках и почвах пойм малых рек представлено в приложении 6, рисунок 3. В наилках поймы верхнего течения р. Малая Ива концентрация общего As значение ПДК не превышает. Категория высокоопасного загрязнения As по транслокационному и общесанитарному

показателям вредности выявлена в наилках пойм верхних и нижних течений р. Егошиха ( $K_{Oв}$  и  $K_{Oв\ max}$  4,5) и р. Данилиха ( $K_{Oв}$  4,0 -  $K_{Oв\ max}$  6,5), а также в нижнем течении р. Ива ( $K_{Oв\ max}$  5,5) и р. Ласьва ( $K_{Oв\ max}$  5,0) (приложение 6, таблица 21).

В поверхностных горизонтах почв пойм верхних течений рек загрязнение As характеризуется как высокоопасное по транслокационному показателю вредности, значения  $K_{Oв}$  составляют для р. Малая Ива 2,5 и для р. Данилиха 2,0 единиц (приложение 6, таблица 22). В горизонте АУg,ur,X почвы поймы верхнего течения р. Егошиха валовый As ПДК не превышает. В поймах нижних течений рек в урбо-серогумусовых горизонтах почв содержание As соответствует высокоопасной категории загрязнения по транслокационному и общесанитарному показателям вредности, значения  $K_{Oв\ max}$  составляют для р. Ива 5,5, р. Егошиха 4,5, для рек Данилиха и Ласьва 3,5 и для р. Верхняя Мулянка 2,0.

В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек уровень загрязнения валовым As высокоопасный (по транслокационному и общесанитарному показателям вредности), значения  $K_{Oв\ max}$  составляют: 7,0 для р. Егошиха, 6,5 для рек Ива и Данилиха и 4,5 для р. Верхняя Мулянка (приложение 6, таблица 23).

В глееватых слоях аллювия почв пойм верхних течений рек выявлен высокоопасный уровень загрязнения валовым As (по транслокационному показателю вредности), значения  $K_{Oв}$  составили для р. Егошиха 4,5, р. Малая Ива 3,0 и р. Данилиха 2,0 (приложение 6, таблица 24).

В глееватых слоях аллювия почв пойм нижних течений рек категория загрязнения валовым As чрезвычайно опасная по миграционному водному показателю вредности для р. Ласьва ( $K_{Oв\ max}$  11,5) и высокоопасная по транслокационному показателю вредности для рек Верхняя Мулянка ( $K_{Oв\ max}$  4,0) и Ива ( $K_{Oв\ max}$  3,5). В глееватых слоях аллювия почв поймы нижнего течения р. Егошиха валовый мышьяк ПДК не превышает.

*Содержание валового никеля* в наилках и почвах пойм малых рек представлено в приложении 6, рисунок 5. В наилках с поймы верхнего течения р. Малая Ива валовый никель ПДК не превышает. Загрязнение общим Ni наилков пойм верхних течений рек до чрезвычайно опасного уровня, согласно значениям коэффициентов опасности  $K_{Oв}$ , наблюдается для р. Данилиха, 6,1, и Егошиха, 2,0 (приложение 6, таблица 21). Чрезвычайно опасная категория загрязнения валовым никелем наилков пойм выявлена в нижнем течении рек Егошиха ( $K_{Oв \max}$  3,4) и Данилиха ( $K_{Oв \max}$  3,3). Наилки поймы нижнего течения р. Ива загрязнены валовым никелем до чрезвычайно опасного уровня ( $K_{Oв \max}$  1,4). В наилках поймы нижнего течения р. Ласьва валовый никель ПДК не превышает.

В поверхностных горизонтах почв пойм верхних течений рек загрязнение валовым никелем до чрезвычайно опасного уровня ( $K_{Oв}$  1,4) отмечено только для реки Данилиха, в то время как для рек Малая Ива и Егошиха значения  $K_{Oв}$  составляют менее 1,0 (приложение 6, таблица 22). Чрезвычайно опасное загрязнение валовым никелем выявлено для урбо-серогумусовых горизонтов почв пойм нижних течений рек Егошиха ( $K_{Oв \max}$  4,0) и Данилиха ( $K_{Oв \max}$  3,1). В поверхностных горизонтах почв поймы нижнего течения р. Ива валовый никель достигает чрезвычайно опасного уровня загрязнения ( $K_{Oв \max}$  1,3). В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек Верхняя Мулянка и Ласьва экологическая ситуация по общему Ni благополучная ( $K_{Oв \max} < 1$ ).

В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек содержание валового никеля соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения, при этом коэффициенты опасности  $K_{Oв \max}$  составляют для рек: Данилиха 5,6 и Егошиха 3,7 (приложение 6, таблица 23). В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек Ива и Верхняя Мулянка валовый никель ПДК не превышает.

В глееватых слоях аллювия почв пойм верхних течений рек Егошиха и Данилиха, в верхнем и нижнем течении р. Ива и нижнем течении р. Верхняя Мулянка валовый никель ПДК не превышает. Чрезвычайно опасная категория загрязнения валовым никелем выявлена в слоях аллювия почв пойм нижних течений рек Егошиха  $K_{Oв\ max} 3,3$  и Ласьва  $K_{Oв\ max} 1,1$  (приложение 6, таблица 24).

*Валовое содержание меди* в наилках и почвах пойм малых рек представлено в приложении 6, рисунок 6. Чрезвычайно опасная категория загрязнения валовой медью, согласно значениям  $K_{Oв}$ , установлена в наилках пойм верхних течений рек Данилиха – 6,6, Ива – 2,8 и Егошиха – 1,6 (приложение 6, таблица 21). В наилках пойм нижних течений рек концентрация валовой меди соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения, значения максимальных коэффициентов опасности  $K_{Oв\ max}$  составляют для рек: Данилиха – 4,0, Егошиха – 2,3 и Ива – 1,9 единиц. В наилках поймы нижнего течения р. Ласьва содержание валовой меди отвечает чрезвычайно опасной категории загрязнения ( $K_{Oв\ max} 1,1$ ).

В горизонте АУg,x почвы поймы верхнего течения р. Малая Ива категория загрязнения валовой медью чрезвычайно опасная, коэффициент  $K_{Oв}$  равен 1,5. В серогумусовых горизонтах почв пойм верхних течений рек Данилиха и Егошиха валовая медь находится на уровне ПДК. В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек категория загрязнения валовой медью чрезвычайно опасная, значения коэффициентов  $K_{Oв\ max}$  равны в р. Егошиха – 2,6, в р. Данилиха – 2,2, в р. Ива – 1,7 и р. Ласьва – 1,2 (приложение 6, таблица 22). В поверхностных горизонтах почв поймы р. Верхняя Мулянка валовая медь ПДК не превышает.

В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек выявлена чрезвычайно опасная категория загрязнения валовой

медью, значения  $K_{Oв\ max}$  составили в реках: Данилиха – 4,5; Егошиха – 2,7; Верхняя Мулянка – 1,2 и Ива – 1,1 единиц (приложение 6, таблица 23).

В глееватых слоях аллювия почв пойм верхних течений рек чрезвычайно опасная категория загрязнения валовой медью выявлена только у р. Малая Ива ( $K_{Oв}$  1,3) (приложение 6, таблица 24). В почвах пойм нижних течений рек в глееватых слоях аллювия категория загрязнения по общей меди чрезвычайно опасная в р. Егошиха ( $K_{Oв\ max}$  2,2) и в р. Верхняя Мулянка ( $K_{Oв\ max}$  1,3). В глееватых слоях аллювия почв пойм нижних течений р. Ива и р. Ласьва валовая медь ПДК не превышает.

*Валовое содержание марганца* в наилках и почвах пойм малых рек приведено в приложении 6, рисунок 7. Согласно коэффициентам опасности  $K_{Oв}$ , загрязнение общим Mn наилок в поймах верхних течений рек высокоопасное по транслокационному показателю вредности для р. Егошиха – 3,0 и умеренно опасное по общесанитарному для р. Данилиха – 1,2 (приложение 6, таблица 21). В наилках поймы верхнего течения р. Малая Ива валовый Mn ПДК не превышает. В нижнем течении рек загрязнение наилок пойм валовым Mn варьирует от высокоопасного до умеренно опасного уровня для р. Ласьва ( $K_{Oв\ max}$  2,9), для р. Ива ( $K_{Oв\ max}$  1,4) и для р. Данилиха ( $K_{Oв\ max}$  1,1). В наилках поймы нижнего течения р. Егошиха валовый марганец ПДК не превышает.

В гумусовых горизонтах почв пойм верхних течений р. Малая Ива и р. Данилиха валовый марганец не превышает ПДК, и только для р. Егошиха категория загрязнения почв умеренно опасная ( $K_{Oв}$  1,3) (приложение 6, таблица 22). В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек категория загрязнения общим Mn высокоопасная для р. Ласьва ( $K_{Oв\ max}$  2,6) и умеренно опасная для р. Верхняя Мулянка ( $K_{Oв\ max}$  1,5), а для рек Ива, Егошиха и Данилиха не превышает ПДК.

В глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия почв пойм рек концентрация валового Mn ПДК не превышает (приложение 6, таблицы 23, 24).

*Содержание общей серы* в наилках и горизонтах почв пойм рек повсеместно соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения (приложение 6, рисунок 8). Значения коэффициентов опасности загрязнения серой наилок для пойм верхних и нижних течений рек составили: р. Данилиха –  $K_{ОВ}$  10,6 -  $K_{ОВ \max}$  15,2; р. Егошиха –  $K_{ОВ}$  6,9 -  $K_{ОВ \max}$  26,1; р. Ива –  $K_{ОВ}$  5,0 -  $K_{ОВ \max}$  7,5; р. Ласьва –  $K_{ОВ \max}$  8,9 (приложение 6, таблица 21).

Значения  $K_{ОВ}$  загрязнения серой в гумусовых горизонтах почв пойм верхних течений рек составляют: для р. Егошиха – 6,8; р. Данилиха – 5,4; р. Малая Ива – 3,9 единиц (приложение 6, таблица 22). В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм нижних течений рек значения  $K_{ОВ \max}$  равны: для р. Данилиха – 9,5; р. Ласьва – 8,3; р. Егошиха – 7,5; р. Верхняя Мулянка – 6,9; р. Ива – 6,2 единиц.

В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек значения  $K_{ОВ \max}$  самые высокие: р. Данилиха – 66,7; р. Егошиха – 60,3; р. Верхняя Мулянка – 21,6; р. Ива – 12,1 единиц (приложение 6, таблица 23).

В глееватых слоях аллювия почв пойм верхних течений рек значения  $K_{ОВ}$  для серы составили: р. Егошиха – 3,6, р. Малая Ива – 3,1, р. Данилиха – 2,5, а в нижних течениях рек: Ива – 15,3; Верхняя Мулянка – 10,1; Егошиха – 8,2 и Ласьва – 5,1 единиц (приложение 6, таблица 24).

#### **4.2 Содержание подвижных форм химических элементов**

При оценке экологического риска загрязнения почв важно знать концентрацию легко- и потенциально подвижных форм ТМ [337]. Концентрация легкоподвижных форм ТМ характеризует интенсивность их миграции по профилю почвы,

их перемещение в грунтовые, речные воды и в организмы. Поэтому содержание подвижных форм ТМ – более информативный показатель загрязнения почв [181, 265, 280, 337].

Представление о риске загрязнения почв дают данные о химическом фракционировании легко- и потенциально подвижных форм ТМ [196, 265, 280, 303, 321]. К легкоподвижным и биодоступным формам относят обменные фракции ТМ, извлекаемые 1 н. аммонийно-ацетатным буфером (ААБ) с рН 4,8 [196, 265]. Легкоподвижные формы Fe, Mn, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn экстрагировали 1 н. ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8. Дальнейшее определение осуществлялось методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе iCAP-6000 (Thermo Fisher Scientific, США).

**Концентрация легкоподвижных форм ТМ.** Почвы и наилки пойм нижних течений рек загрязнены легкоподвижными формами ТМ, извлекаемыми ААБ (приложение 6, таблицы 25, 26). Коэффициент опасности элемента относительно содержания его легкоподвижной формы ( $K_{Op}$ ) высчитывался по формуле 8 как отношение содержания легкоподвижной формы элемента, экстрагированной из образца почвы или наилка с помощью 1 н. ацетатно-аммонийного буфера ( $C_i$ , мг/кг), к его ПДК (ОДК) для подвижных форм ( $C_{iПДК(ОДК) подв.}$ , мг/кг). ПДК (ОДК) для подвижных форм оценивались по значениям: Zn 23; Pb и Cr 6; Ni 4; Cu 3; Mn 100 мг/кг [256]. Категорию загрязнения почв по подвижным формам ТМ устанавливали в соответствии с [205, 256].

**Содержание легкоподвижных форм цинка.** Согласно значениям коэффициентов опасности  $K_{Op}$ , содержание подвижных форм цинка в наилках пойм нижних течений рек Ласьва (7,0), Егошиха (3,3) и Данилиха (2,3) соответствует высокоопасной категории загрязнения (приложение 6, таблица 26). В наилках поймы нижнего течения р. Ива подвижный Zn ПДК не превышает. В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм

рек Егошиха и Данилиха значения коэффициентов  $K_{Op}$  равны 2,4 и 1,4, что соответствует высокоопасному и умеренно опасному загрязнению. В горизонтах АУg,ur,x почв пойм рек Ива и Ласьва подвижные формы цинка ПДК не превышают. В глеевом горизонте G<sup>~</sup>,X почвы поймы нижнего течения р. Данилиха подвижный Zn превышает ПДК в 4,7 раза (высокоопасная категория), а в пойме р. Егошиха находится на уровне ПДК. В глеевых горизонтах почв поймы нижнего течения р. Ива подвижные формы цинка ПДК не превышают. В пойме нижнего течения р. Ласьва в глееватом слое аллювия подвижные формы цинка ПДК не превышают.

*Концентрация легкоподвижных форм свинца.* Категория загрязнения наилок подвижными формами Pb в пойме нижнего течения р. Данилиха чрезвычайно опасная,  $K_{Op}$  равен 2,0 единицам (приложение 6, таблица 26). В наилках пойм нижних течений рек Ива, Егошиха и Ласьва подвижные формы Pb ПДК не превышают. Чрезвычайно опасное загрязнение подвижными формами Pb выявлено в урбо-серогумусовых горизонтах почв поймы нижнего течения р. Данилиха ( $K_{Op}$  1,3). В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм нижних течений рек Ива, Егошиха и Ласьва подвижные формы Pb ПДК не превышают. Содержание подвижного свинца в глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек Ива, Егошиха и Данилиха ПДК не превышает. Концентрация подвижных форм свинца в слоях аллювия почв поймы р. Ласьва превышает ПДК в 2,0 раза (чрезвычайно опасная категория загрязнения).

*Содержание легкоподвижного хрома.* Загрязнение подвижным хромом наилок пойм нижних течений рек чрезвычайно опасное: в р. Егошиха  $K_{Op}$  2,5 и в р. Данилиха  $K_{Op}$  1,1 (приложение 6, таблица 26). В наилках пойм нижних течений рек Ива и Ласьва подвижный хром ПДК не превышает. В по-

верхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек категория загрязнения подвижным Cr чрезвычайно опасная: у р. Данилиха  $K_{Op}$  4,5, у р. Егошиха  $K_{Op}$  3,2. В горизонтах АУg,ur,X почв пойм нижних течений рек Ива и Ласьва подвижный хром ПДК не превышает. В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек чрезвычайно опасное загрязнение подвижными формами хрома выявлено для р. Данилиха ( $K_{Op}$  13,5) и р. Егошиха ( $K_{Op}$  3,6). В глеевых горизонтах почв поймы р. Ива и в глееватых слоях аллювия почв поймы р. Ласьва подвижный хром ПДК не превышает.

*Содержание легкоподвижных форм никеля.* Чрезвычайно опасная и высокоопасная категории загрязнения наилков пойм подвижным никелем в нижнем течении рек выявлена для р. Егошиха ( $K_{Op}$  4,1) и р. Данилиха ( $K_{Op}$  2,5) соответственно (приложение 6, таблица 26). В наилках пойм нижних течений рек Ива и Ласьва легкоподвижные формы никеля ПДК не превышают. Урбо-серогумусовые горизонты почв пойм нижних течений рек Егошиха ( $K_{Op}$  5,9) и Данилиха ( $K_{Op}$  3,0) загрязнены подвижным Ni до чрезвычайно опасной и высокоопасной категории соответственно. В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек Ива и Ласьва концентрации подвижных форм никеля ПДК не превышают. В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек содержание подвижного Ni соответствует чрезвычайно опасной и высокоопасной категории загрязнения, при этом коэффициенты опасности  $K_{Op}$  составляют для р. Данилиха 18,2 и для р. Егошиха 3,2. В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений реки Ива и в слоях аллювия почв поймы нижнего течения р. Ласьва подвижный никель содержится в количестве ниже ПДК.

*Содержание легкоподвижных форм меди.* В наилках пойм нижних течений рек концентрация подвижной меди соответствует высокоопасной категории загрязнения, коэффициенты опасности  $K_{Op}$  составляют: для р. Егошиха 4,0, для р. Данилиха

3,7 и для р. Ива 1,9 (приложение 6, таблица 26). В наилках поймы нижнего течения р. Ласьва содержание подвижных форм меди ПДК не превышает. В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм нижних течений рек категория загрязнения подвижной медью высокоопасная: в р. Данилиха  $K_{Op}$  5,5, в р. Егошиха  $K_{Op}$  2,6 и в р. Ива  $K_{Op}$  1,7. В урбо-серогумусовых горизонтах почв поймы р. Ласьва подвижная медь ПДК не превышает. В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек выявлена высокоопасная категория загрязнения подвижной медью: в р. Данилиха  $K_{Op}$  18,4, в р. Егошиха  $K_{Op}$  2,4 и в р. Ива  $K_{Op}$  1,5. В глееватых слоях аллювия почв поймы нижнего течения р. Ласьва подвижная медь ПДК не превышает.

*Содержание легкоподвижных форм марганца.* Согласно коэффициентам опасности ( $K_{Op}$ ), загрязнение наилок пойм подвижным Mn высокоопасное: в р. Ласьва 13,3, р. Ива 4,4, р. Егошиха 2,0 и в р. Данилиха 1,3 (приложение 6, таблица 26). В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм нижних течений рек концентрация подвижного марганца определяет высокоопасную категорию загрязнения, коэффициенты  $K_{Op}$  равны в р. Ива 2,3, в р. Егошиха 2,0, в р. Ласьва 1,8 и в р. Данилиха 1,2. В глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек содержание подвижного марганца характеризует загрязнение как высокоопасное, значения  $K_{Op}$  равны: в р. Ива 1,8, в р. Егошиха 1,7 и в р. Данилиха 1,5. В слоях аллювия почв поймы нижнего течения р. Ласьва концентрация подвижного марганца определяет высокоопасную категорию загрязнения ( $K_{Op}$  1,9).

Средние значения коэффициентов опасности концентрации легкоподвижных форм  $K_{Op}$  ТМ в почвах пойм образуют следующий геохимический ряд:

$$Cu\ 4,1 > Ni\ 4,0 > Cr\ 3,2 > Mn\ 1,8 > Zn\ 1,4$$

Категория загрязнения почв ТМ «чрезвычайно опасная и высокоопасная».

Загрязнение наилками поверхностных горизонтов почв

выявляли с помощью *коэффициентов загрязнения поверхностных горизонтов* ( $K_{ЗПГн}$ ), представляющих собой отношения содержания подвижных форм ТЭ в наилках к их содержанию в поверхностных горизонтах почв пойм [48].

Легкоподвижные формы ТЭ поступают в поверхностные горизонты почв пойм нижних течений малых рек в составе наилок. Для левобережных рек г. Перми (приложение 6, таблица 19) средние значения коэффициентов загрязнения поверхностных горизонтов почв легкоподвижными формами образуют ряд:



Коэффициенты загрязнения поверхностных горизонтов почв, рассчитанные для валового содержания и для концентрации легкоподвижных форм, показывают, что в составе наилок преобладают формы металлов, которые не обладают подвижностью. Следовательно, малые реки левобережной части города загрязняются преимущественно за счёт поступления твёрдых взвесей в составе вод. В пойме р. Ласьва, согласно ряду  $K_{ЗПГн}: \text{Zn}_{53,6} \text{Mn}_{7,4} \text{Cr}_{1,5} (\text{Pb}, \text{Ni})_{1,0} \text{Cu}_{0,5} \text{Fe}_{0,3}$ , в наилках доля подвижных форм Zn, Mn и Cr преобладает над валовым содержанием. Это означает, что поверхностные горизонты почв поймы этой реки загрязняются в большей степени легкоподвижными формами.

Подвижность ТМ оценивали по *показателю* ( $K_M$ ) – доля легкоподвижных и потенциально подвижных форм от валового содержания, %. В профилях почв пойм малых рек содержание легкоподвижных форм металлов от общих концентраций ( $K_{МА\%}$ ) следующее:

*Доля легкоподвижных форм цинка* ( $K_{МА\%}$ ) от валового содержания в наилках пойм нижних течений рек велика и составляет: для р. Данилиха 31 %, р. Ласьва 26 %, р. Егошиха

24 % и р. Ива 14 %. В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек Егошиха, Данилиха и Ива доля легкоподвижного Zn равна 12; 9 и 8 % соответственно. В горизонтах АУg,ur,x почв поймы р. Ласьва доля подвижных форм цинка низкая – 4 %. Подвижность Zn в глеевом горизонте почвы поймы нижнего течения р. Данилиха значительна и составляет 27 %. Меньшая подвижность Zn выявлена в горизонтах G<sup>~</sup>,X рек Ива – 11 % и Егошиха – 6 %. В глееватых слоях аллювия почвы поймы р. Ласьва подвижность Zn – 9 %.

*Доля легкоподвижных форм свинца (K<sub>MA</sub> %)* в наилках поймы нижнего течения р. Данилиха максимальна – 25 %. В наилках поймы р. Ива подвижность свинца равна 15 %, р. Егошиха 9 % и р. Ласьва 3 %. В горизонтах АУg,ur,X почв пойм нижних течений рек Данилиха и Егошиха подвижность Pb равна 9 %. Меньшая подвижность свинца выявлена в гумусовых горизонтах почв пойм рек Ива – 6 % и Ласьва – 3 %. Подвижность свинца в глеевом горизонте почвы поймы нижнего течения р. Ива высокая (K<sub>M</sub> 34 %). В горизонтах G<sup>~</sup>,X почв пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха значения K<sub>M</sub> более низкие и составляют 17 и 8 % соответственно. Доля подвижных форм свинца от валового содержания в слоях аллювия почв поймы р. Ласьва составляет 13 %.

*Доля легкоподвижного хрома от валового (K<sub>MA</sub>, %)* низкая в наилках пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха – 3 % и у рек Ива и Ласьва – 1 %. В поверхностных горизонтах почв пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха доля подвижного Cr низкая – 4 %, а для рек Ива и Ласьва – 1 %. Доля подвижного Cr в глеевых горизонтах почв пойм нижних течений рек составляет для р. Данилиха 6 %, для р. Егошиха 5 % и для р. Ива 1 %. В слоях аллювия почвы поймы р. Ласьва подвижность Cr составляет 1 %.

*Доля легкоподвижного никеля* от валового ( $K_{MA}$ , %) в наилках пойм нижних течений малых рек снижается в ряду: Данилиха 7 %, Егошиха 6 %, Ива и Ласьва – 3 %. В урбо-серогумусовых горизонтах почв пойм рек доля подвижных форм Ni от валового содержания составляет для р. Егошиха 7 %, для р. Данилиха – 5 % и для рек Ива и Ласьва – 3 %. В глеевых горизонтах наибольшая подвижность Ni выявлена в почве поймы р. Данилиха – 15 %, в то время как для р. Егошиха она составила 4 %, а для р. Ива – 3 %. В слоях аллювия почв поймы р. Ласьва доля подвижных форм никеля от валового содержания составляет 3 %.

*Доля легкоподвижной меди* от валового содержания ( $K_{MA}$ , %) в наилках пойм нижних течений рек Данилиха и Егошиха повышенная – 17 и 11 % соответственно, и менее высокая для р. Ива – 7 % и р. Ласьва – 1 %. В гумусовых горизонтах почв подвижность меди, повышенная в пойме р. Данилиха – 14 % и небольшая в поймах рек Егошиха – 8 %, Ива – 7 % и Ласьва – 4 %. В глеевых горизонтах почв пойм мобильность Cu повышенная для р. Данилиха – 23 % и слабая для рек Егошиха и Ива – 8 %. В слоях аллювия почв поймы р. Ласьва подвижность меди слабая – 2 %.

*Доля легкоподвижного марганца* от валового содержания ( $K_{MA}$ , %) в наилках пойм нижних течений малых рек снижается в ряду: Ласьва 32 %, Ива 27 %, Егошиха 24 %, Данилиха 23 %. В гумусовых горизонтах почв пойм подвижность Mn в ряду рек следующая: Егошиха 24 %, Ласьва 22 %, Данилиха 21 % и Ива 20 %. В глеевых горизонтах почв пойм подвижность марганца более высокая: р. Данилиха 32 %, р. Ива 30 %, р. Егошиха 27 %. В глееватых слоях аллювия почв поймы р. Ласьва подвижность марганца также высокая – 17 %.

Таким образом, в почвах пойм нижних течений рек Ива, Егошиха и Данилиха среди легкоподвижных форм ТМ

наибольшей подвижностью (средние и максимальные значения  $K_{MA}$ , %) обладает Mn – 25-32 %, ниже мобильность у Pb 17-34 % > Zn 16-31 % > Cu 11-23 % > Ni 6-15 % > Cr 3-6 % > Fe 1 % (рисунок 13).

Максимальная подвижность ТМ характерна для почв поймы р. Данилиха.

В профиле почвы поймы р. Ласьва средние значения  $K_{MA}$ , % сформировали следующий ряд: Mn 20 % > Pb 8 % > Zn 5 % > (Cu, Ni) 3 % > (Cr, Fe) 1 %.

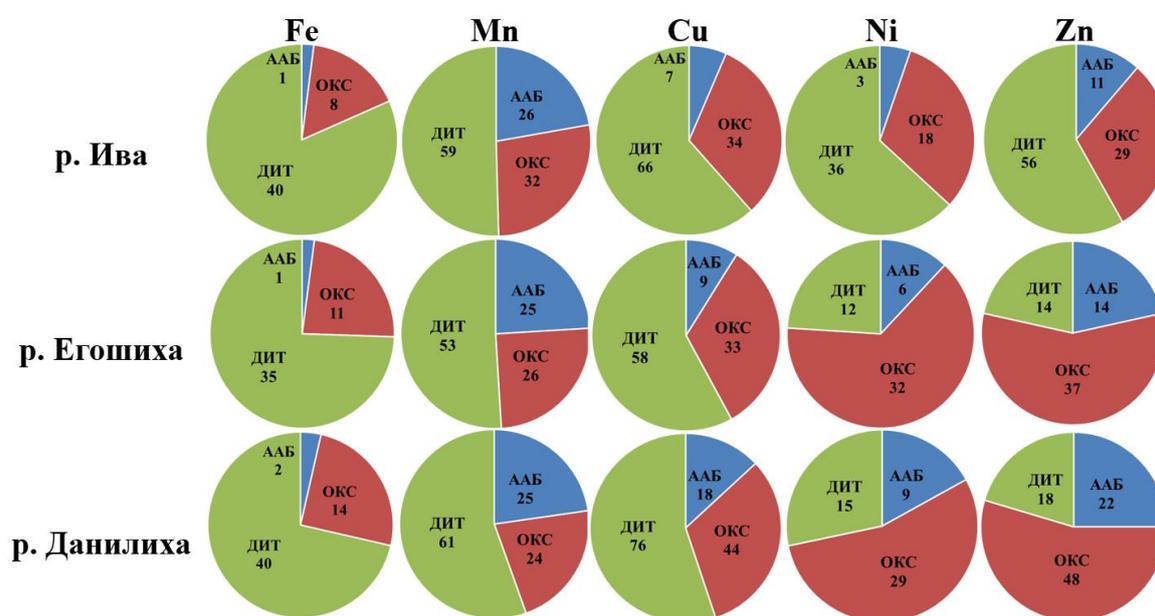


Рисунок 13. Легкоподвижные и потенциально подвижные формы соединений Fe и ТМ (Mn, Zn, Ni и Cu) в почвах пойм малых рек г. Перми, фракционированные по сокращённой параллельной схеме, % от валового содержания. Формы металлов: легкоподвижные ААБ – растворимые в ацетатно-аммонийном буфере с рН 4,8; потенциально подвижные: ОКС – оксалаторастворимые; ДИТ – дитиониторастворимые.

Для почв пойменных ландшафтов таёжно-лесной зоны характерно высокое содержание легкоподвижных форм (гидр)оксидов марганца [9, 115, 301]. Низкая подвижность Cr при его высоком общем содержании ранее была установлена для почв поймы реки Одра в Польше [349].

### *Концентрация потенциально подвижных форм ТМ.*

Для определения содержания в почвах потенциально подвижных форм ТМ, связанных с несиликатными соединениями Fe, используют вытяжки Тамма (оксалатная) и Мера-Джексона (дитионит-цитрат-бикарбонатная) [116, 201, 265]. Потенциально подвижные формы ТМ в случае изменения ОВ-потенциала и кислотно-щелочной среды могут представлять опасность, так как являются резервом для их мобильных соединений [349, 351].

Содержание потенциально подвижных форм Mn, Ni, Cu и Zn определяли в вытяжках Тамма и Мера-Джексона [114, 265] атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ААС-3 (VEB Carl Zeiss JENA, ГДР).

В исследуемых почвах доля оксалоторастворимых соединений металлов  $K_{MO}$  в валовом содержании (средние и максимальные значения  $K_{MO}$ , %) высокая и составляет для Zn 38-72 %, Cu 37-51 %, Ni 27-47 %, Mn 27-37 %, Fe 11-16 % (рисунок 13, таблица 26). Доля потенциально подвижных дитиониторастворимых соединений металлов в валовом содержании (средние и максимальные значения  $K_{MD}$ , %) значительная и составляет для Cu 66-97 %, Mn 57-68 %, Fe 38-44 %, Zn 28-73 %, Ni 20-51 %.

Легкоподвижные формы ( $K_{MA}$ , %) металлов распределяются по профилям почв неоднородно. В глеевых горизонтах, по сравнению с поверхностными, их количество выше (таблица 27), так как в анаэробных условиях высвобождение металлов происходит более интенсивно, что подтверждают и другие исследователи [321, 331, 337, 385].

Таблица 26

Содержание оксалато- и дитиониторастворимых форм Fe, Mn, Ni, Cu и Zn (мг/кг, в числителе) и их доля от валовой концентрации (% , в знаменателе) в почвах и наилках пойм малых рек г. Перми

Горизонт, глубина, см	Fe		Mn		Ni		Cu		Zn	
	О	Д	О	Д	О	Д	О	Д	О	Д
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива										
наилк, 0-2	<u>3200</u> 9	<u>15400</u> 42	<u>595</u> 37	<u>965</u> 59	<u>20</u> 16	<u>33</u> 27	<u>32</u> 37	<u>80</u> 93	<u>47</u> 34	<u>64</u> 46
AУg,ur,x, 0-15	<u>3200</u> 9	<u>15100</u> 41	<u>407</u> 35	<u>727</u> 62	<u>21</u> 24	<u>26</u> 29	<u>26</u> 37	<u>35</u> 50	<u>33</u> 29	<u>58</u> 50
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	<u>2000</u> 6	<u>11800</u> 37	<u>144</u> 24	<u>334</u> 55	<u>9</u> 15	<u>31</u> 51	<u>15</u> 29	<u>30</u> 56	<u>20</u> 23	<u>63</u> 73
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-70	<u>1900</u> 6	<u>11000</u> 35	<u>171</u> 24	<u>382</u> 54	<u>10</u> 16	<u>24</u> 40	<u>13</u> 24	<u>10</u> 19	<u>14</u> 16	<u>59</u> 67
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха										
наилк, 0-2	<u>5500</u> 15	<u>12000</u> 32	<u>202</u> 24	<u>382</u> 46	<u>78</u> 27	<u>26</u> 9	<u>27</u> 24	<u>25</u> 22	<u>154</u> 49	<u>35</u> 11
AУg,ur,X, 0-15	<u>3700</u> 10	<u>12600</u> 35	<u>205</u> 24	<u>374</u> 44	<u>124</u> 37	<u>40</u> 12	<u>34</u> 34	<u>82</u> 83	<u>174</u> 38	<u>57</u> 12
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	<u>3400</u> 9	<u>13400</u> 36	<u>178</u> 28	<u>413</u> 65	<u>86</u> 28	<u>40</u> 13	<u>25</u> 29	<u>72</u> 82	<u>96</u> 25	<u>59</u> 16
C1g <sup>~</sup> ,X, 30-50	<u>4100</u> 11	<u>13900</u> 37	<u>152</u> 27	<u>312</u> 55	<u>96</u> 34	<u>41</u> 15	<u>54</u> 44	<u>52</u> 43	<u>126</u> 37	<u>56</u> 16
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха										
наилк, 0-2	<u>3300</u> 15	<u>9700</u> 44	<u>144</u> 25	<u>394</u> 68	<u>29</u> 19	<u>32</u> 21	<u>34</u> 51	<u>65</u> 97	<u>124</u> 71	<u>56</u> 32
AУg,ur,X, 0-22	<u>3600</u> 10	<u>13900</u> 39	<u>122</u> 21	<u>305</u> 53	<u>52</u> 20	<u>35</u> 13	<u>53</u> 44	<u>117</u> 97	<u>86</u> 25	<u>59</u> 17
G <sup>~</sup> ,X, 22-70	<u>5400</u> 16	<u>12700</u> 38	<u>119</u> 26	<u>283</u> 61	<u>224</u> 47	<u>51</u> 11	<u>90</u> 37	<u>82</u> 34	<u>186</u> 46	<u>26</u> 6
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка										
AУg,ur,X, 0-20	<u>8700</u> 22	<u>14200</u> 36	<u>323</u> 39	<u>513</u> 62	<u>18</u> 22	н/д	<u>26</u> 46	н/д	<u>67</u> 66	н/д
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	<u>9200</u> 23	<u>16400</u> 41	<u>382</u> 47	<u>641</u> 79	<u>11</u> 17	н/д	<u>42</u> 60	н/д	<u>74</u> 65	н/д
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма р. Ласва										
наилк, 0-2	<u>11300</u> 27	<u>14400</u> 35	<u>2394</u> 58	<u>2464</u> 60	<u>62</u> 100	<u>34</u> 54	<u>36</u> 83	<u>11</u> 26	<u>588</u> 93	<u>27</u> 4
AУg,ur,x, 0-10	<u>7300</u> 19	<u>14700</u> 38	<u>279</u> 34	<u>420</u> 51	<u>25</u> 50	<u>29</u> 57	<u>14</u> 64	<u>19</u> 83	<u>53</u> 76	<u>30</u> 43
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	<u>9300</u> 23	<u>15600</u> 38	<u>595</u> 54	<u>734</u> 67	<u>30</u> 51	<u>26</u> 44	<u>17</u> 46	<u>11</u> 31	<u>82</u> 59	<u>35</u> 25
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	<u>8800</u> 23	<u>16200</u> 42	<u>419</u> 53	<u>566</u> 72	<u>29</u> 57	<u>26</u> 50	<u>13</u> 32	<u>9</u> 23	<u>41</u> 53	<u>34</u> 45
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	<u>8400</u> 22	<u>15700</u> 41	<u>290</u> 42	<u>427</u> 62	<u>20</u> 35	<u>23</u> 41	<u>10</u> 22	<u>6</u> 13	<u>32</u> 52	<u>32</u> 52
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	<u>6400</u> 18	<u>14400</u> 40	<u>218</u> 31	<u>329</u> 47	<u>13</u> 32	<u>20</u> 51	<u>11</u> 44	<u>8</u> 32	<u>39</u> 62	<u>27</u> 44

Примечание: н/д – нет данных.

Таблица 27

Распределение по профилю почв пойм малых рек Ива, Егошиха и Данилиха легко- и потенциально подвижных форм металлов, % от валового содержания

Горизонты	Вытяжки		
	НН <sub>4</sub> Ас с рН 4,8 (К <sub>МА</sub> )	Тамма (К <sub>МО</sub> )	Мера-Джексона (К <sub>МД</sub> )
поверхностные	Mn 21 > Pb 15 > (Zn, Cu) 10 > Ni 5 > Cr 3 > Fe 1	Cu 38 > Zn 31 > (Mn, Ni) 27 > Fe 10	Cu 77 > Mn 53 > Fe 38 > Zn 26 > Ni 18
глеевые	Mn 30 > Pb 19 > Zn 14 > Cu 13 > Ni 8 > Cr 4 > Fe 1	Zn 32 > Cu 31 > Ni 30 > Mn 26 > Fe 10	Mn 60 > Cu 57 > Fe 37 > Zn 32 > Ni 25

Распределение по профилю почв металлов, извлекаемых вытяжками Тамма и Мера-Джексона, имеет свои особенности (таблица 27).

В почвах пойм нижних течений рек Егошиха и Данилиха реактив Тамма извлекает большее количество Ni и Zn, чем реактив Мера-Джексона.

Следовательно, Ni и Zn преимущественно связаны с аморфными слабокристаллизованными гидроксидами железа и техногенным мелкодисперсным (менее 10 мкм) магнетитом. Относительно слабое извлечение Ni и Zn сильным экстрагентом дитионит-цитрат-бикарбонатом и повышенное их извлечение более слабым экстрагентом – оксалатом аммония, можно объяснить следующим образом. В почвах пойм рек Егошиха и Данилиха аккумулируется значительное количество восстановленных форм серы (валовое содержание серы в единичных случаях достигает 10672 мг/кг; K<sub>к</sub> = 13; K<sub>ов</sub> 67). Восстановленные формы серы обладают редуцирующим действием. В свою очередь действие реактива Мера-Джексона также основано на восстановительном эффекте. Поэтому вытяжка Мера-Джексона менее эффективна, чем вытяжка Тамма. В то время как действие вытяжки Тамма основано на эффекте хелатирования металлов оксалатом аммония. Доля потенциально подвижных соединений меди и марганца выше, чем никеля и цинка.

Парный корреляционный анализ по Спирмену выявил сильные достоверные связи между содержанием оксалаторастворимых форм Fe<sub>o</sub> с оксалаторастворимыми формами Mn<sub>o</sub>, Zn<sub>o</sub> и Ni<sub>o</sub> ( $r = 0,6-0,7$ ) (таблица 28). При определении связи ( $r$ ) в выборку включили образцы наиболее загрязнённых горизонтов почв пойм рек промышленно-коммунальной зоны центра города.

Прослеживается тенденция связи содержания оксалаторастворимых форм Cu и Fe. Связь концентрации дитиониторастворимых форм Mn, Zn и Fe слабая. Дитиониторастворимые формы Ni, Cu и Fe не связаны между собой.

Таблица 28

Коэффициенты корреляции ( $r$ ) оксалато- (О) и дитиониторастворимых (Д) форм Fe и ТЭ в почвах и наилках пойм малых рек г. Перми

(n = 20)		(n = 9)					
r Fe - Mn		r Fe - Zn		r Fe - Ni		r Fe - Cu	
О	Д	О	Д	О	Д	О	Д
<b>0,55*</b>	0,30	<b>0,72*</b>	0,36	<b>0,70*</b>	-0,05	0,53	0,09

Примечание: \* жирным шрифтом выделены значения, достоверные при  $P = 0,95$ .

Таким образом, более сильная связь оксалаторастворимых соединений железа с ТМ указывает на большую селективность вытяжки Тамма к последним и на преимущественное нахождение Mn, Zn, Ni и Cu в составе магнетита.

Высокие концентрации легко- и потенциально подвижных форм ТМ в почвах пойм нижних течений рек представляют угрозу для вторичного загрязнения вод р. Камы в пределах Воткинского водохранилища – местного приёмника водных миграционных потоков металлов. Вторичное загрязнение речных вод металлами может быть вызвано увеличением их подвижности при изменении ОВ-условий в почвах пойм малых рек.

Оценка элементного химического состава почв пойм малых рек г. Перми совпадает с негативной эколого-геохимической характеристикой компонентов экосистем речных долин на территории города: донных осадков [219], речных вод [89], аллювиальных почв поймы р. Кама [30] и др.

### 4.3 Оценка взаимосвязи концентрации химических элементов и экологических условий. Геохимические барьеры

Связи между содержанием валовых химических элементов, их легко- и потенциально подвижными формами и удельной магнитной восприимчивостью в почвах оценивали, используя ранговый коэффициент корреляции Спирмена, а также многомерный кластерный анализ. Оценивали степень тесноты корреляционной связи по значениям  $r$  [93]. Обработку данных вели в пакетах Microsoft Excel и StatSoft STATISTICA 10. Рассматривались статистически значимые значения ( $p < 0,05$ ).

Неоднородные по профилю почв ОВ-условия способствуют образованию в них сорбционных, глеевых, сероводородных, щелочных и конкреционных микро- и макрогеохимических барьеров.

Многомерный анализ взаимосвязей концентрации химических элементов и экологических условий в почвах пойм нижних течений малых рек показал наличие двух кластеров. В первом кластере с  $E_H$  тесно связаны редокс-зависимые элементы Fe и Mn. Во втором кластере с pH объединяются S, P и Ca (рисунок 14).

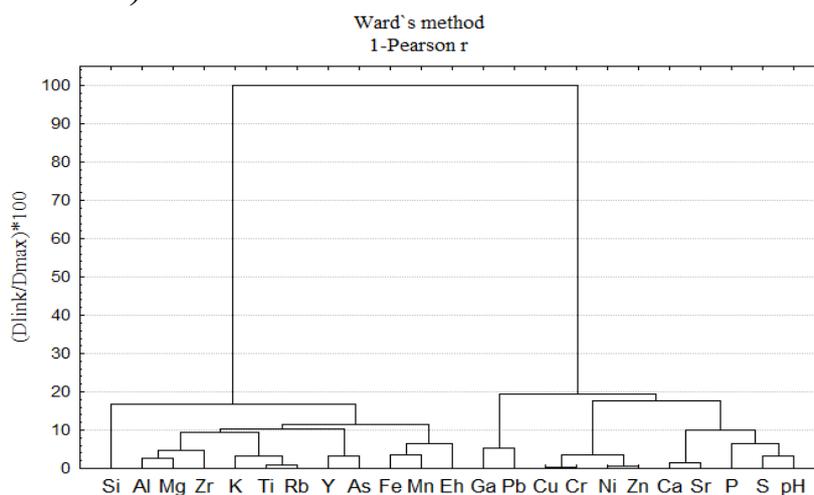


Рисунок 14. Дендрограмма кластерного анализа взаимосвязи валового содержания химических элементов со средними значениями  $E_H$  и pH в почвах пойм малых рек г. Перми,  $n = 10$ .

Парный корреляционный анализ по Спирмену выявил ( $r = 0,6-0,8$ ), что на щелочном барьере с участием Ca аккумулируются P, S, Cu (таблица 29).

Таблица 29

Ряды коэффициентов корреляции ( $r$ ), характеризующие связь валового содержания химических элементов и средних значений  $E_H$  и  $pH$  в почвах пойм малых рек г. Перми,  $n = 10$

$E_H$	Fe <sub>0,59</sub> Rb <sub>0,56</sub> Ti <sub>0,54</sub> Mg <sub>0,46</sub> Zr <sub>0,41</sub> Al <sub>0,35</sub> Mn <sub>0,30</sub> Y <sub>0,28</sub> K <sub>0,24</sub> Pb <sub>0,21</sub> Si <sub>-0,01</sub> Ga <sub>-0,05</sub> P <sub>-0,18</sub> Ca <sub>-0,26</sub> Zn <sub>-0,27</sub> Ni <sub>-0,43</sub> Sr <sub>-0,49</sub> Cr <sub>-0,51</sub> Cu <sub>-0,56</sub> <b>S<sub>-0,66</sub></b> As <sub>-0,79</sub>
$pH$	<b>P<sub>0,83</sub></b> Ca <sub>0,79</sub> S <sub>0,74</sub> <b>Cu<sub>0,64</sub></b> Cr <sub>0,50</sub> Sr, Ni <sub>0,42</sub> Zn <sub>0,28</sub> Fe <sub>0,06</sub> Pb <sub>0,05</sub> Mn <sub>0,01</sub> Ga <sub>-0,12</sub> As <sub>-0,23</sub> Y <sub>-0,27</sub> Mg <sub>-0,33</sub> Zr <sub>-0,36</sub> Rb <sub>-0,40</sub> Ti <sub>-0,52</sub> <b>Al<sub>-0,65</sub></b> <b>Si<sub>-0,68</sub></b> <b>K<sub>-0,72</sub></b>

Примечание: жирным выделены значения  $r$ , достоверные при  $P = 0,95$ .

Карбонаты кальция, подщелачивая почву, повышают отрицательный заряд глинистых минералов и снижают положительный заряд амфотерных (гидр)оксидов железа, что способствует поглощению металлов [84, 85, 200]. К тому же гидроксокомплексы металлов при повышенном  $pH$  имеют меньший заряд  $MeOH^+$ , что усиливает их сорбцию почвой из раствора [185]. Накопление Cu на щелочном геохимическом барьере отмечала Г.И. Сарапулова [259]. Тенденции прямой связи  $E_H$  (преобладающих за период наблюдений интенсивно и слабо восстановительных условий) обнаружены с Fe, Rb ( $r 0,6$ ), Ti, Mg ( $r 0,5$ ), Zr, Al ( $r 0,4$ ), Mn, Y ( $r 0,3$ ) и обратные с As ( $r -0,8$ ).

Легкоподвижные формы металлов и средние значения  $E_H$  и  $pH$  почв пойм образуют два кластера:  $E_H$ -Pb-Mn и  $pH$ -Zn-Ni-Cr-Cu-Fe (рисунок 15).

В первом кластере на уровне тенденции отмечена прямая связь  $E_H$  со Pb ( $r 0,2$ ) и обратная с Mn ( $r -0,1$ ). Во втором кластере нейтральная среда достоверно связана с Ni, Zn, Cu и Cr ( $r 0,9$ ) и на уровне тенденции с Fe ( $r 0,4$ ) (таблица 30). В нейтральной среде в восстановительных условиях Ni, Zn, Cu и Cr малоподвижны [4, 22, 142, 233].

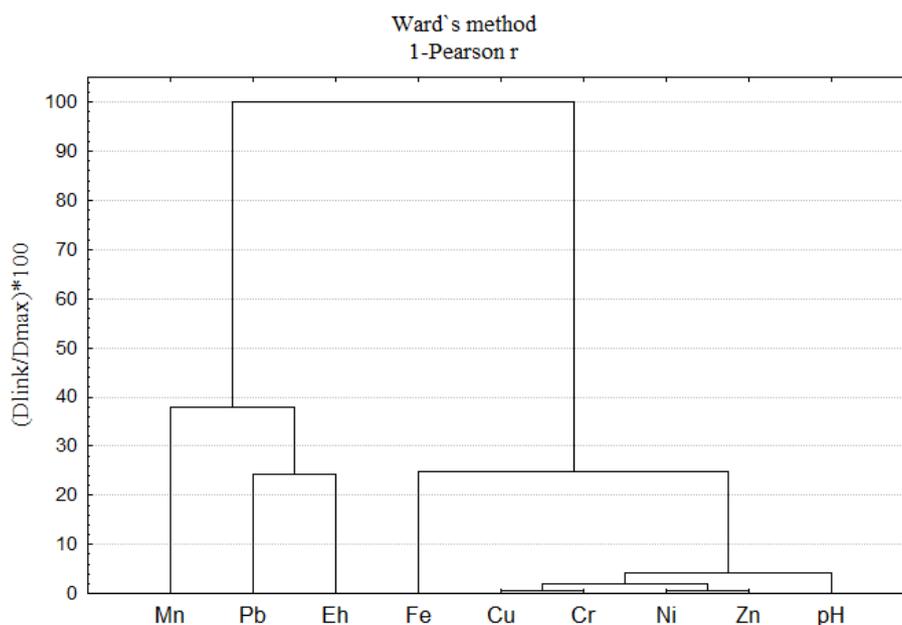


Рисунок 15. Дендрограмма кластерного анализа связи легкоподвижных форм металлов со средними значениями  $E_H$  и рН в почвах пойм рек г. Перми,  $n = 8$ .

Таблица 30

Ряды коэффициентов корреляции ( $r$ ), характеризующие зависимость содержания легкоподвижных форм металлов и средних значений  $E_H$  и рН в почвах пойм малых рек города Перми,  $n = 8$

$E_H$	<b>Pb<sub>0,17</sub></b> Mn <sub>-0,07</sub> Fe <sub>-0,17</sub> Cr <sub>-0,51</sub> Zn <sub>-0,53</sub> Cu <sub>-0,56</sub> Ni <sub>-0,59</sub>
рН	<b>Ni<sub>0,92</sub> Zn<sub>0,91</sub> Cu<sub>0,89</sub> Cr<sub>0,87</sub></b> Fe <sub>0,40</sub> Pb <sub>0,05</sub> Mn <sub>-0,14</sub>

Примечание: жирным выделены значения  $r$ , достоверные при  $P = 0,95$ .

Многомерный кластерный анализ взаимосвязи концентрации химических элементов, нормированных по железу, в почвах пойм верхних и нижних течений малых рек показал наличие двух кластеров (рисунок 16). В алюмосиликатном кластере объединяются Zr, Rb, Y, Ga и Sr с Si, Al, K и Ti. Элементы данного кластера в почвах пойм входят в состав глинистых минералов, калиевых полевых шпатов и гидрослюд. Во втором кластере связаны ТЭ: Cu, Ni, Cr, As, Pb, Zn, Mn, а также S, P, Mg, Ca.

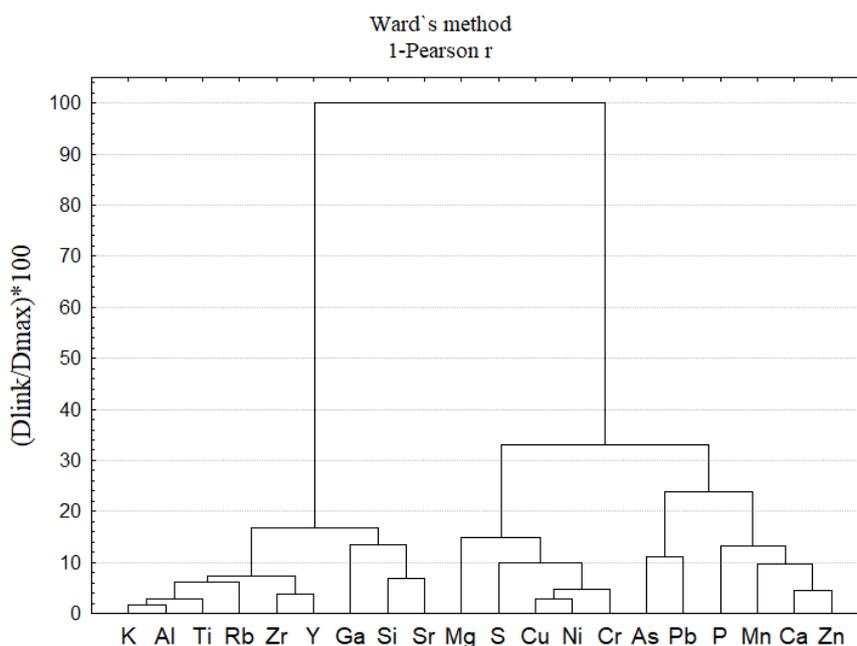


Рисунок 16. Дендрограмма кластерного анализа взаимосвязи валового содержания химических элементов, нормированных по железу, в наилках и горизонтах почв пойм малых рек города Перми,  $n = 80$ .

Парный корреляционный анализ ( $r$ ) по Спирмену данных о валовой концентрации химических элементов, нормированных по железу, в профиле почв пойм верхних и нижних течений ( $n = 80$ ), в наилках ( $n = 23$ ), а также в поверхностных ( $n = 25$ ) и глеевых горизонтах почв ( $n = 17$ ) показал, что в алюмосиликатных кластерах существуют достоверные связи (приложение 6, таблица 27). Содержание валового К, входящего в состав силикатных минералов, достоверно коррелирует с содержанием Si ( $r 0,7-0,9$ ).

Алюминий достоверно связан с Zr ( $r 0,6-0,8$ ), K, Ti ( $r 0,7-0,9$ ), Y ( $r 0,5-0,8$ ). Цирконий достоверно близок к K, Ti и Y ( $r 0,5-0,9$ ). Цирконий в лёгких почвах входит в состав минерала циркона и других цирконосиликатов [10, 123, 124]. Достоверная связь выявлена у K с Ti и Y ( $r 0,5-0,9$ ), а также у Si с Zr и Al ( $r 0,4-0,9$ ). Связь Al с Si обусловлена содержанием последних в полевых шпатах и слюдах, где они изоморфно замещают друг друга [233]. Галлий в наилках достоверно близок

к Zr ( $r = 0,5$ ). В глеевых горизонтах галлий достоверно связан со Sr ( $r = 0,6$ ). Галлий содержится в составе полевых шпатов [160, 204]. Рубидий в почвах достоверно связан с Al ( $r = 0,6-0,8$ ), K ( $r = 0,7-0,8$ ), Ti ( $r = 0,5-0,7$ ), Zr, Y ( $r = 0,4-0,7$ ). Достоверна связь рубидия и железа в поверхностных горизонтах ( $r = 0,6$ ). Рубидий в почвах фиксируется глинистыми минералами [218], осаждается гидроокислами железа [123, 142] и в виде изоморфной примеси замещает калий в полевых шпатах и слюдах [2, 3, 233]. Титан достоверно связан с Y ( $r = 0,5-0,9$ ) и Fe ( $r = 0,4-0,8$ ). В лёгких почвах пойм титан содержится в зёрнах рутила и ильменита [4, 10, 160, 174], а в тяжёлых почвах встречается в составе глинистых минералов, слюдах и амфиболах [4, 233]. В поверхностных и глеевых горизонтах Fe достоверно связано с Y ( $r = 0,7-0,9$ ). Достоверная связь Fe и Mg в гумусовых и глеевых горизонтах ( $r = 0,4-0,5$ ) отражает присутствие в почвах магниевых ферритов и хлоритов. Стронций достоверно связан с K ( $r = 0,6-0,9$ ), Si ( $r = 0,6-0,8$ ), и Al ( $r = 0,6-0,8$ ). Стронций, наряду с изоморфным вхождением в решётки полевых шпатов [160], также сорбируется глинистыми минералами [54] и входит в состав тенонита, стронциодрессерита, сванбергита [123].

Парный корреляционный анализ ( $r$ ) по Спирмену данных о валовой концентрации ТЭ в профилях почв пойм верхних и нижних течений рек показал, что Ca, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, As достоверно связаны с Fe ( $r = 0,3-0,5$  при  $n = 80$ ), что говорит о формировании в почвах природно-техногенных сорбционных барьеров (таблица 31). Следовательно, в почвах пойм с восстановительными условиями аморфные и кристаллические формы железа имеют важное значение в сорбции ТЭ. Связи между Zn, Cu, Pb и Fe для поверхностных горизонтов почв пойм также отмечала Š. Dlouhá [336].

Взаимосвязи Cu и Zn с Fe объясняются тем, что железомagneзиальные минералы осаждают медь и цинк [3, 22]. Никель изоморфно замещает железо в оливинах и пироксенах [4,

229, 230, 231, 233]. Цинк в лёгких почвах фиксируется гидроксидом железа – ферроксигитом [49, 50, 58, 361, 376].

Таблица 31

Ряды коэффициентов корреляции ( $r$ ) парной взаимосвязи между содержанием Fe и химическими элементами в наилках и горизонтах почв пойм малых рек города Перми

Fe	наилки, n = 23	<u>Ca<sub>0,56</sub> As<sub>0,50</sub> Zn<sub>0,48</sub> Y<sub>0,46</sub> (Cu,Mn)<sub>0,45</sub> Ti<sub>0,42</sub> Pb<sub>0,40</sub> Ni<sub>0,32</sub> Rb<sub>0,27</sub> K<sub>0,14</sub> P<sub>0,10</sub> Cr<sub>0,07</sub> Ga<sub>0,06</sub> Mg<sub>-0,02</sub> S<sub>-0,05</sub> Sr<sub>-0,06</sub> Zr<sub>-0,10</sub> Al<sub>-0,11</sub> Si<sub>-0,76</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Ti<sub>0,68</sub> Y<sub>0,65</sub> Rb<sub>0,62</sub> K<sub>0,57</sub> Zr<sub>0,50</sub> Al<sub>0,49</sub> Mn<sub>0,46</sub> Mg<sub>0,43</sub> Sr<sub>0,41</sub> Cu<sub>0,28</sub> As<sub>0,25</sub> Zn<sub>0,21</sub> (Ni,P)<sub>0,18</sub> Ca<sub>0,14</sub> Pb<sub>0,10</sub> Ga<sub>0,07</sub> Cr<sub>-0,01</sub> Si<sub>-0,10</sub> S<sub>-0,40</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Y<sub>0,85</sub> Ca<sub>0,79</sub> Ti<sub>0,76</sub> Zr<sub>0,57</sub> Mg<sub>0,52</sub> Sr<sub>0,46</sub> Rb<sub>0,45</sub> Al<sub>0,44</sub> Zn<sub>0,43</sub> Ni<sub>0,42</sub> Si<sub>0,40</sub> Cu<sub>0,35</sub> K<sub>0,29</sub> S<sub>0,28</sub> P<sub>0,27</sub> Pb<sub>0,18</sub> Cr<sub>0,09</sub> Ga<sub>0,08</sub> As<sub>0,05</sub> Mn<sub>-0,45</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>As<sub>0,80</sub> Pb<sub>0,79</sub> Mn<sub>0,78</sub> P<sub>0,75</sub> Y<sub>0,68</sub> Ca<sub>0,61</sub> Sr<sub>0,58</sub> Ga<sub>0,45</sub> Zn<sub>0,34</sub> Rb<sub>0,29</sub> Ti<sub>0,12</sub> Cu<sub>-0,06</sub> Ni<sub>-0,08</sub> K<sub>-0,29</sub> Zr<sub>-0,33</sub> Cr<sub>-0,40</sub> S<sub>-0,47</sub> Mg<sub>-0,54</sub> Al<sub>-0,61</sub> Si<sub>-0,78</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ca<sub>0,54</sub> Y<sub>0,53</sub> Mn<sub>0,52</sub> Zn<sub>0,45</sub> Ti<sub>0,44</sub> Rb<sub>0,41</sub> Cu<sub>0,40</sub> (Pb,Ni)<sub>0,29</sub> As<sub>0,25</sub> (P,Sr)<sub>0,22</sub> Mg<sub>0,14</sub> K<sub>0,13</sub> Ga<sub>0,10</sub> Zr<sub>0,04</sub> Cr<sub>-0,01</sub> Al<sub>-0,03</sub> S<sub>-0,10</sub> Si<sub>-0,26</sub></u>

Примечание: подчёркнутые значения  $r$  достоверны при  $P = 0,95$ .

Связь Pb с Fe обусловлена сорбцией свинца на (гидр)оксидах железа (гетите) [372, 376]. Связь As с Fe определяется тем, что в восстановительных условиях и нейтральной среде преобладающий легкорастворимый и токсичный As(III) – арсенит [68, 233, 375, 391], формирует с минералами железа (лепидокрокитом, ферригидритом, гетитом, гематитом, магнетитом) прочные как поверхностные, так и внутрисферные комплексы [3, 49, 53, 54, 327, 335, 344, 345, 363, 364].

Достоверные связи между общими концентрациями ТЭ, нормированных по железу: As и Pb; Pb и P; Zn, Ca с Mn и P ( $r = 0,4-0,5$ ), Zn с Ca ( $r = 0,7$ ) и Cr, Ni, Cu с Mg ( $r = 0,3-0,4$ ) (приложение 6, таблица 27), также указывают на формирование в почвах пойм природно-техногенного сорбционного барьера.

Взаимосвязь As с Mn объясняется тем, что мышьяк фиксируют аморфные гелеобразные гидроксиды и карбонаты марганца [102]. Связь Pb с Mn обусловлена сорбцией свинца на (гидр)оксидах марганца (бернессите; коронадите) [372, 376]. Оксиды марганца – бернессит, вернадит и халькофанит, в почвах фиксируют цинк [49, 50, 58, 361, 376].

Связь Zn, Pb, Ca и Fe с P объясняется формированием в восстановительной и нейтральной средах плохо растворимых фосфатов [2, 4, 22, 84, 85, 128, 142, 233, 243, 244]. В глееватых слоях аллювия наблюдается достоверная связь между фосфором и Ca, Fe ( $r$  0,8), Pb ( $r$  0,7), Mn ( $r$  0,6). В наилках с фосфором достоверно связаны Zn и Ca ( $r$  0,5).

Связи As, Pb, Zn с Ca объясняются тем, что карбонаты кальция удерживают ТЭ ( $Me^{2+}$ ) за счёт специфической сорбции – хемосорбции [84, 85, 78, 185]:



Металлы блокируют активные центры на поверхности кристаллов кальцита и ингибируют его растворение. Заполнение всей поверхности кальцита хемосорбированными карбонатами металла инициирует осаждение отдельных твердых фаз карбонатов металла:



где  $MeCO_3$  (тв.) – трудно растворимые соли металлов: церрусит  $Pb_3(CO_3)_2$ , гидроцеррусит  $Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$ , Zn-гидроталькит  $Zn_3Al(OH)_8(CO_3)_6$ , гидроцинкит  $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$  [41, 185, 350]. Цинк, сорбированный доломитом  $Ca,Mg[CO_3]_2$ , может изоморфно замещать и даже вытеснять Mg [3]. Арсенаты Ca и Mg в нейтральных и слабокислых условиях малоподвижны [53, 119, 120, 233].

Связи Cr, Ni, Cu с Mg объясняются тем, что магний по свойствам близок к элементам группы железа. Ионные радиусы  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  близкие (0,52-0,93 Å), этим определяется их изоморфная смесимость [2, 294]. Малые размеры иона  $Mg^{2+}$  позволяют ему входить в решетку глинистых минералов [233]. Никель изоморфно замещает магний в оливинах и пироксенах [4, 229, 230, 231, 233]. Взаимосвязи Cu с Mg объясняются тем, что железомagneзиальные минералы осаждают медь [3, 22].

Природно-техногенные сероводородные и глеевые барьеры формируются в глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия почв пойм нижних течений рек, а в глееватых слоях аллювия почв пойм верхних течений рек – глеевые барьеры. В кластере с участием ТЭ в глеевых горизонтах выявлены достоверные связи ( $r = 0,6-0,8$ ) между содержанием Cu, Zn, Pb, Ni, Cr и концентрацией S (приложение 6, таблица 27). В глеевых горизонтах почв пойм анаэробные сульфатвосстанавливающие бактерии *Desulfovibrio* насыщают почвенный воздух сероводородом, который, реагируя с двухвалентными: Fe, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, осаждает их из почвенного раствора в виде сульфидов или редуцирует металлы до восстановленных форм. В первую очередь формируются трудно растворимые сульфиды, а затем более растворимые, согласно ряду: ковеллин CuS, галенит PbS, сфалерит ZnS, миллерит NiS и макинавит  $(Fe, Ni)_9S_8$ . Среди сульфидов в почвах пойм также встречаются гидросульфиды  $Fe(HS)_n^{2-n}$ , гидротроилит  $FeS \cdot nFe_2S_3 \cdot nH_2O$ , грейгит  $(Fe^{2+})(Fe^{3+})_2S_4$ , алабандин (MnS), халькозин ( $Cu_2S$ ), джарлеит  $Cu_{1,9}S$ , анилит  $Cu_{1,75}S$ , аурипигмент  $As_2S_3$ ; киноварь HgS. Рассеянные наночастицы сульфидов железа обладают высокой поверхностной площадью, что делает их хорошими поглотителями ТЭ [11, 58, 78, 79, 81, 100, 112, 142, 188, 233, 287, 289, 290, 337, 356, 366, 380, 395, 400, 401].

Сульфиды также восстанавливают Cr(VI) до Cr(III), токсичность и подвижность которого ниже [340]. При одновременном воздействии Cr(VI) с Fe(II) и S(II) образуется малорастворимый осадок  $Cr_{1-x}Fe_x(OH)_3 \cdot nH_2O$ . При восстановлении хромата S(II) образуется осадок  $Cr(OH)_3 \cdot nH_2O$ , который более растворим. Но преобладание в осадке доли Fe(III) над Cr(III) ведёт к его стабилизации [346].

Формирование техногенных восстановительных сероводородных геохимических барьеров также наблюдали в рес-

публике Башкортостан в почвах поймы реки Карагайлы, протекающей в районе Сибайского медно-цинкового месторождения [266], и пойме реки Буйда на территории Учалинского района [288]. Формирование сероводородной среды в техногенно преобразованных почвах поймы реки Ленвы в Пермском крае описано Е.А. Хайрулиной [289, 290].

В поверхностных горизонтах связь с серой достоверна у меди ( $r = 0,4$ ). Для наилок и глеевых горизонтов выявлена достоверная связь между содержанием S и P ( $r 0,4-0,5$ ).

Кроме того, в кластерах с ТЭ существуют достоверные связи Cu с Ni ( $r 0,8$ ), Pb ( $r 0,2$ ) и Cr ( $r 0,7$ ). Достоверная связь выявлена в наилках для Pb и Ni, Cr и Ni ( $r 0,8$ ), Cr и Pb ( $r 0,7$ ). Свинец в почве снижает подвижность шестивалентного Cr, образуя хромат свинца [2, 125, 142]. Марганец в глеевых горизонтах достоверно связан со Sr ( $r 0,6$ ). Известно, что минералы марганца, такие как рамсделлит, нсутит, романешит, бернесит и вернадит, могут накапливать Sr [376]. В поверхностных горизонтах и глееватых слоях аллювия также выявлена достоверная связь стронция с серой ( $r = 0,6-0,8$ ). Достоверная связь обнаружена у Sr с Rb в наилках и глеевых горизонтах ( $r 0,7-0,8$ ). В наилках Mn достоверно связан с Rb ( $r 0,5$ ).

Оценка разницы концентрации ТЭ по t-критерию Стьюдента между гумусовыми и глеевыми горизонтами в почвах пойм выявила достоверные различия содержания Pb, As, Sr, S и Mn. Содержание Pb, As, Sr и S достоверно выше в глеевых горизонтах, что подтверждает формирование глеевых и сероводородных барьеров. Концентрация Mn достоверно выше в гумусовых горизонтах, что связано с его накоплением на сорбционных барьерах (таблица 32).

В гумусовых горизонтах почв пойм рек, по сравнению с глеевыми, достоверно в более высоких концентрациях на сорбционных барьерах накапливаются: Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, Rb, Ti и Ca для р. Ива, Mn и Y для р. Егошиха, Ca для р. Данилиха, Pb, As, Rb и P для р. Ласьва (таблица 33).

Таблица 32

Оценка по t-критерию Стьюдента разницы содержания ТЭ  
в гумусовых и глеевых горизонтах почв пойм  
малых рек города Перми

химический элемент	количество пар сравнения	разница средних, мг/кг	t фактическое для пар сравнения	разница средних, мг/кг	t фактическое для пар сравнения
		$G_{\sim}, X - AYg, ur$		$AYg, ur - G_{\sim}, X$	
Pb	22	25,5	2,16*		
As		3,2	2,40*		
Sr		19,1	2,30*		
S		1954,1	2,75*		
Mn					390,7

\* при P = 0,95.

Таблица 33

Оценка по t-критерию Стьюдента разницы содержания химических элементов в гумусовых и глеевых горизонтах почв пойм нижних течений малых рек г. Перми

химический элемент	количество пар сравнения	разница средних, мг/кг	t фактическое для пар сравнения	разница средних, мг/кг	t фактическое для пар сравнения
		$AYg, ur - G_{\sim}, X$		$G_{\sim}, X - AYg, ur$	
Почвы поймы р. Ива					
Zn	5	67,2	5,44*		
Ni		23,4	2,34*		
Cu		24,8	3,43*		
Mn		673,2	5,82*		
Fe		5726,2	3,76*		
Rb		7,8	3,35*		
Ti		406,1	3,34*		
Ca		5959,1	6,46*		
Sr					36,2
Почвы поймы р. Егошиха					
Mn	5	692,1	5,42*		
Y		4,1	4,2*		
S					5224,8
Почвы поймы р. Данилиха					
Ca	5	10361,6	2,86*		
Почвы поймы р. Верхняя Мулянка					
Zn	2			37,1	9,72*
Почвы поймы р. Ласва					
Pb	5	126,4	6,58*		
As		10,1	3,65*		
Rb		6,4	2,39*		
P		886,8	3,97*		

\* при P = 0,95.

В глеевых горизонтах почв пойм рек, по сравнению с гумусовыми, отмечено достоверно высокое накопление на глеевых и сероводородных барьерах Sr для р. Ива, S для р. Егошиха и Zn для р. Верхняя Мулянка.

В почвах пойм наблюдается тенденция связи ( $r$ ) содержания легкоподвижного железа с концентрацией легкоподвижных форм Zn 0,3, Ni 0,4, Cu и Cr 0,6 (таблица 34). Следовательно, гидроксиды железа накапливают эти ТЭ. Оксиды марганца проявляют высокую сорбционную способность и служат геохимическим барьером для многих ТЭ [326, 354, 376]. Отсутствие связи ( $r$ ) между содержанием легкоподвижных форм Mn и Pb ( $r$  -0,3), Zn, Ni ( $r$  -0,4), Cu ( $r$  -0,5) и Cr ( $r$  -0,6) объясняется тем, что Mn в нейтральной и восстановительной обстановках (при  $E_H$  ниже 400 мВ) находится в подвижном состоянии и вымывается из почв [209]. В этих же условиях (при рН 7 и  $E_H$  выше 300 мВ)  $Fe^{2+}$  малоподвижно [142, 233] и образует восстановленные подвижные формы при рН 7,5 в интервале  $E_H$  от +100 до +300 мВ и при рН 8 и  $E_H$  -100 мВ [139, 142, 163].

Таблица 34

Корреляционная матрица содержания легкоподвижных форм тяжёлых металлов и железа в почвах пойм малых рек г. Перми,  $n = 10$

$r$	Fe	Mn	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Fe	1,0						
Mn	-0,56	1,0					
Pb	-0,18	-0,29	1,0				
Zn	0,34	-0,40	0,07	1,0			
Cu	0,60	-0,52	0,04	0,93*	1,0		
Ni	0,41	-0,40	-0,01	0,98*	0,96*	1,0	
Cr	0,56	-0,58	0,06	0,95*	0,97*	0,97*	1,0

\*- достоверно при уровне значимости 0,95.

Следовательно, аморфные и кристаллические формы железа в почвах пойм с восстановительными условиями имеют более важное значение в сорбции ТЭ, чем оксиды марганца.

В свою очередь легкоподвижный Zn достоверно связан (при  $r = 0,9$ ) с Cu, Ni и Cr, подвижный Cr с Cu и Ni ( $r 0,9$ ), а Ni с Cu ( $r 0,9$ ).

Таким образом, кластерный анализ общего содержания химических элементов, нормированных по железу, в почвах и наилках пойм выявил кластер алюмосиликатного состава и кластер с присутствием ТЭ-загрязнителей. Алюмосиликатный кластер K-Al-Ti-Rb-Zr-Y-Ga-Si-Sr, несущий в составе Rb, Zr, Y, Ga, обязан присутствию в почвах пойм минералов групп полевых шпатов, гидрослюд и глинистых минералов. Кластер с преимущественно антропогенными элементами-загрязнителями Mg-S-Cu-Ni-Cr-As-Pb-P-Mn-Ca-Zn показывает влияние на почвы пойм техногенеза. Корреляционный анализ установил достоверные положительные связи ТЭ с Fe, Mg, S, P, Mn и Ca.

В почвах пойм с восстановительными условиями аморфные и кристаллические формы железа имеют важное значение в сорбции ТЭ. На это указывает положительная достоверная связь валового железа с As ( $r 0,3-0,8$ ), Mn ( $r 0,5-0,8$ ), Pb ( $r 0,3-0,8$ ), Sr ( $r 0,2-0,6$ ), Zn ( $r 0,5$ ) и Ca ( $r 0,5-0,8$ ). Положительная тенденция связи выявлена между содержанием легкоподвижных форм железа и Zn ( $r 0,3$ ), Cu ( $r 0,6$ ), Ni ( $r 0,4$ ) и Cr ( $r 0,6$ ).

В сложившихся в почвах пойм геохимических условиях кластерным и корреляционным методами анализа выявлены зависимости подвижности ТЭ от средних значений  $E_H$  и pH. Так, наблюдаются тенденции прямой связи  $E_H$  с Fe, Rb ( $r 0,6$ ), Ti, Mg ( $r 0,5$ ), Zr, Al ( $r 0,4$ ), Mn, Y ( $r 0,3$ ) и обратные с As ( $r - 0,8$ ). Тесные достоверные прямые связи с pH выявлены у P, Ca ( $r 0,8$ ), S ( $r 0,7$ ), Cu ( $r 0,6$ ), на уровне тенденции с Cr ( $r 0,5$ ), Sr, Ni ( $r 0,4$ ) Zn ( $r 0,3$ ).

Для легкоподвижных форм выявлены на уровне тенденции слабые связи  $E_H$  с прямой зависимостью для Pb ( $r 0,2$ ) и с обратной для Mn ( $r -0,1$ ). Достоверно связаны pH с Ni, Zn, Cu, Cr ( $r 0,9$ ) и на уровне тенденции с Fe ( $r 0,4$ ).

**Оценка взаимосвязи валового содержания и концентрации легкоподвижных форм химических элементов с величиной магнитной восприимчивости.** Множественный кластерный анализ нормированных по железу УМВ, валового содержания и концентрации легкоподвижных форм химических элементов в почвах пойм выявил группы элементов, как связанных, так и не связанных с ферромагнетиками.

С величиной УМВ сильнее связана общая концентрация Mg, Cr, Ni, Cu и S и слабее Zn, Ca и Pb. Кластеры, в которых нет связи содержания химических элементов с концентрацией ферромагнетиков, образуют K, Al, Ti, Rb, Zr, Y, Ga, Si и Sr, а также легкоподвижные формы Cu-Ni-Cr (рисунок 17). Вероятно, легкоподвижные Cu, Ni и Cr ассоциируют с диамагнитным органическим веществом почвы. В кластере с легкоподвижными формами Pb, Zn и Mn связь с УМВ также слабая.

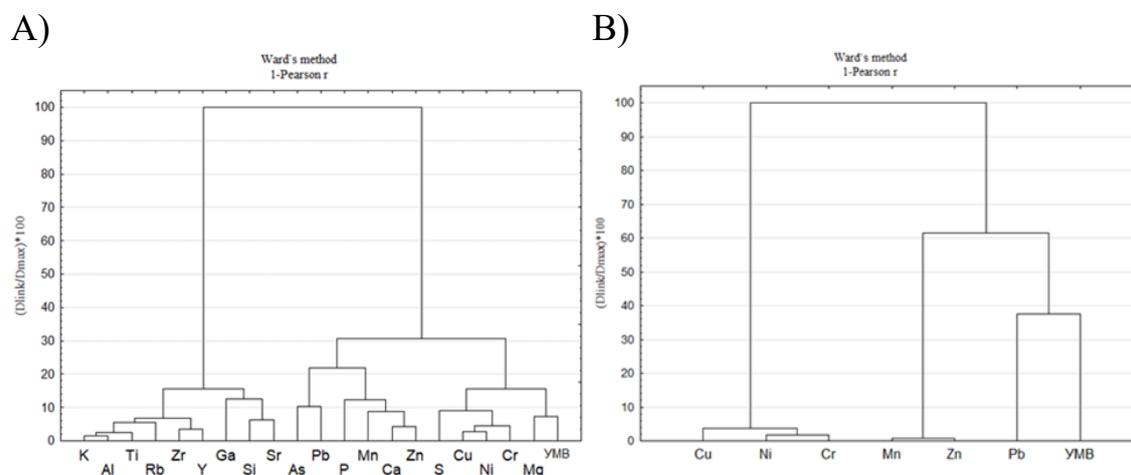


Рисунок 17. Дендрограмма кластерного анализа связи нормированных по железу УМВ и А) валового содержания химических элементов ( $n = 80$ ) и В) концентрации легкоподвижных форм ТМ ( $n = 12$ ) в почвах и наилках пойм малых рек города Перми

Аналогичные закономерности выявил парный корреляционный анализ по Спирмену. Концентрация Ti, Rb, Y, Zr, K и Al, нормированных по железу в почвах пойм, имеет достоверную отрицательную связь ( $r = -0,5 - -0,7$ ) с нормированной

по железу УМВ и поэтому не связана с накоплением ферромагнетиков. Отсутствие связи УМВ с Rb обнаружено С. Zhang [404] при изучении наилок поймы реки Ляньшуй в городе Лоуди в провинции Хунань в Китае. С. Zhang [404] делает вывод, что Rb поступает из педогенных источников в районе водосбора.

В почвах и наилках пойм достоверно связаны нормированные по железу значения УМВ и валовое содержание: Ni, Cu, Ca, Mg ( $r = 0,5-0,6$ ), Zn ( $r = 0,4$ ), Cr ( $r = 0,3$ ) и Pb ( $r = 0,2$ ) (таблица 35). Данные связи объясняются изоморфным замещением Fe (II, III) в решётках техногенных магнетита/маггемита и гематита на Ni, Cu, Ca, Mg, а Zn, Cr и Pb у парамагнитных гидроксидов железа [37, 110, 142, 238, 254]. Для наилок и почв пойм рек подобные связи между УМВ и ТЭ наблюдали в Китае С. Zhang [404], Чехии Š. Dlouhá [336] и Словении S. Frančišković-Bilinski [342]. Исследователи связывали их с проявлением техногенеза.

Таблица 35

Ряды коэффициентов парной корреляции ( $r$ ) по Спирмену между нормированными по железу УМВ и валовым содержанием химических элементов в почвах и наилках пойм малых рек города Перми

$r$ для $\chi/Fe$ и валового содержания химических элементов/Fe
генеральная выборка (наилки и горизонты профилей), $n = 80$
<u>Ni<sub>0.61</sub></u> <u>Cu<sub>0.60</sub></u> <u>Ca<sub>0.57</sub></u> <u>Mg<sub>0.52</sub></u> <u>Zn<sub>0.40</sub></u> <u>Cr<sub>0.27</sub></u> <u>Pb<sub>0.23</sub></u> S, P <sub>0.18</sub> Mn <sub>-0.02</sub> Si <sub>-0.11</sub> Ga <sub>-0.13</sub> Sr, As <sub>-0.14</sub> <u>Al<sub>-0.50</sub></u> <u>K, Zr<sub>-0.53</sub></u> <u>Y, Rb<sub>-0.65</sub></u> <u>Ti<sub>-0.66</sub></u>
наилки, $n = 23$
<u>Ni<sub>0.88</sub></u> <u>Pb<sub>0.76</sub></u> <u>S<sub>0.72</sub></u> <u>Mg<sub>0.67</sub></u> <u>Cr<sub>0.64</sub></u> <u>Cu<sub>0.58</sub></u> Ca <sub>0.38</sub> Si <sub>0.30</sub> P <sub>0.22</sub> Sr <sub>0.12</sub> Zn <sub>0.11</sub> Ga <sub>0.09</sub> Al <sub>-0.11</sub> As <sub>-0.27</sub> K, Zr <sub>-0.36</sub> <u>Mn<sub>-0.49</sub></u> <u>Y<sub>-0.52</sub></u> <u>Rb<sub>-0.54</sub></u> <u>Ti<sub>-0.60</sub></u>
поверхностные горизонты, $n = 25$
<u>Cu<sub>0.74</sub></u> <u>Ni<sub>0.57</sub></u> <u>Pb<sub>0.55</sub></u> Zn <sub>0.37</sub> Ca <sub>0.36</sub> Cr <sub>0.35</sub> Mg <sub>0.22</sub> S <sub>0.16</sub> P <sub>0.11</sub> As <sub>0.10</sub> Sr <sub>-0.06</sub> Mn <sub>-0.12</sub> Ga <sub>-0.13</sub> Si <sub>-0.20</sub> <u>K<sub>-0.45</sub></u> <u>Zr<sub>-0.47</sub></u> <u>Al<sub>-0.56</sub></u> <u>Ti<sub>-0.58</sub></u> <u>Y<sub>-0.70</sub></u> <u>Rb<sub>-0.84</sub></u>
глеевые горизонты, $n = 17$
<u>Ca<sub>0.82</sub></u> <u>S<sub>0.80</sub></u> <u>Zn<sub>0.78</sub></u> <u>Ni<sub>0.74</sub></u> <u>Cu<sub>0.61</sub></u> <u>Pb<sub>0.55</sub></u> Cr <sub>0.45</sub> P <sub>0.26</sub> Mg <sub>0.08</sub> As <sub>-0.07</sub> Si <sub>-0.19</sub> Ga <sub>-0.38</sub> <u>Ti<sub>-0.57</sub></u> <u>Y, Zr<sub>-0.58</sub></u> <u>Sr<sub>-0.60</sub></u> <u>K<sub>-0.61</sub></u> <u>Mn<sub>-0.65</sub></u> <u>Al<sub>-0.71</sub></u> <u>Rb<sub>-0.79</sub></u>
глееватые слои аллювия, $n = 15$
Pb <sub>0.42</sub> Zn <sub>0.29</sub> Ni <sub>0.21</sub> Cr <sub>0.18</sub> As, P, Y <sub>0.16</sub> Cu <sub>0.09</sub> Mg <sub>0.08</sub> Sr <sub>0.06</sub> Zr <sub>0.05</sub> Ti <sub>0.02</sub> Ga <sub>-0.03</sub> Ca <sub>-0.05</sub> Rb <sub>-0.11</sub> K <sub>-0.25</sub> Si <sub>-0.31</sub> Al <sub>-0.34</sub> S <sub>-0.48</sub> <u>Mn<sub>-0.54</sub></u>

Примечание: подчёркнуты коэффициенты, достоверные при  $P = 0,95$ .

Легкоподвижные формы Zn имеют тенденцию положительной связи с УМВ ( $r = 0,2$ ), что говорит об их связи с парамагнитными гидроксидами железа. Легкоподвижные формы Mn, Pb, Ni, Cu и Cr с УМВ не связаны (таблица 36).

Таблица 36

Ряды коэффициентов парной корреляции ( $r$ ) по Спирмену между нормированными по железу значениями УМВ и концентрацией легкоподвижных форм ТМ в почвах и наилках пойм малых рек города Перми

n	$r$ для $\chi/\text{Fe}$ подв. и легкоподвижных форм ТМ/Fe подв.
12	Zn <sub>0,20</sub> Mn <sub>0,11</sub> Pb <sub>0,06</sub> Ni <sub>0,04</sub> Cu <sub>0,02</sub> Cr <sub>-0,02</sub>

Примечание: коэффициенты не достоверны при  $P = 0,95$ .

Недостоверные слабые связи между содержанием валового Fe и УМВ в наилках ( $r = 0,1$  при  $n = 23$ ) и поверхностных горизонтах ( $r = 0,3$  при  $n = 25$ ) почв пойм мы объясняем преобладанием слабромагнитных минералов железа (парамагнитных и/или антиферромагнитных) над содержанием ферромагнитных минералов. Данную закономерность аналогично объясняли В.А. Maher [359] и Š. Dlouhá [336]. Достоверная средняя связь между общим Fe и УМВ обнаружена в генеральной выборке ( $r = 0,4$  при  $n = 80$ ), в подповерхностных глеевых горизонтах ( $r = 0,6$  при  $n = 17$ ) и слоях аллювия ( $r = 0,6$  при  $n = 15$ ). Доминирование аморфных железосодержащих минералов нами также диагностировано с помощью мессбауэровской спектроскопии.

Рост содержания окристаллизованных соединений Fe в глеевых горизонтах и глееватых слоях аллювия объясняет усиление связи между УМВ и общим содержанием железа в почвах пойм. Роль глеегенеза была оценена с помощью критерия Швертмана ( $K_{III}$ ). В выборке из наиболее загрязнённых почв пойм рек центра промышленно-коммунальной зоны г. Перми была выявлена достоверная положительная связь ( $r = 0,8$ ) между

значениями  $K_{III}$  и УМВ. Прослеживается тенденция связи содержания оксалаторастворимых форм Fe и УМВ ( $r = 0,6$ ). Связь оксалаторастворимых соединений железа с УМВ указывает на присутствие магнетита в почвах пойм. Дитиониторастворимые формы Fe и УМВ не связаны между собой ( $r = -0,6$ ).

Множественный кластерный анализ коэффициентов EF обогащения ТЭ и УМВ, нормированных по Fe, показывающих магнитное обогащение и аккумуляцию ТЭ относительно фона в почвах и наилках ( $n = 59$ ) пойм малых рек левобережной части г. Перми, выявил группы элементов, как связанные, так и не связанные с ферримагнетиками (рисунок 18). Техногенные элементы: Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, S, P, а также Ca и Mg накапливаются преимущественно в составе магнитных частиц. Марганец, As, Sr, Si, Y, Rb, Zr, Ti, Al, K и Ga не ассоциируют с магнитным загрязнением почв пойм.

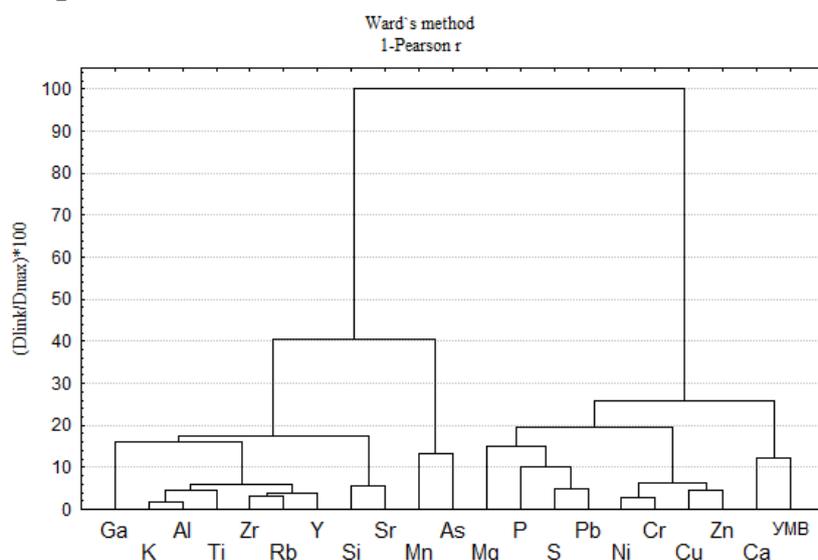


Рисунок 18. Дендрограмма кластерного анализа связи коэффициентов EF обогащения ТЭ и УМВ, нормированных по Fe, относительно фона в почвах и наилках ( $n = 59$ ) пойм малых рек левобережной части города Перми.

Таким образом, соотношение парамагнитных, антиферромагнитных и ферримагнитных железосодержащих компо-

нентов в почвах, наилках и магнитной фракции определяет неоднородность их УМВ. По нашему мнению, различия в значениях УМВ фазы магнетит/маггемит в почвах и наилках пойм города Перми обусловлены неодинаковой интенсивностью её поступления в промышленно-коммунальной и агропоселковой зонах и разной напряжённостью восстановительных условий при глеегенезе.

Снижение значений УМВ и ожелезнённости в глеевых горизонтах почв пойм нижних течений малых рек г. Перми объясняется развитием интенсивно восстановительных условий, разрушающих высокомагнитные минералы железа. В почвах пойм техногенный магнетит окисляется и замещается маггемитом, что сопровождается снижением УМВ. Магнетит с поверхностным стоком с территории города в составе промышленной и автотранспортной пыли постоянно поступает в почвы пойм, поэтому процесс техногенного загрязнения ферримагнетиками преобладает над мартитизацией. В почвах пойм повышенная УМВ диагностирует загрязнение Ni, Cu, Zn, Cr и Pb.

*Геохимическая оценка состава роренштейнов.* Роренштейны, являясь конкреционными барьерами корней растений, могут концентрировать химические элементы в 5-10 раз выше, чем вмещающая матрица почв. Воздухоносные ткани корней растений в ризосфере поддерживают повышенный ОВ-потенциал, окисляющий Fe, Mn и другие металлы, которые мобилизуются из бескислородных осадков и накапливаются в органоминеральных оболочках на более старых корнях [30, 82, 337, 341].

Кислоты, продуцируемые микроорганизмами, и ионы водорода, выделяемые корнями растений, создают в ризосфере более кислую реакцию среды, что приводит к формированию кислотно-щелочного геохимического барьера и осаждению в этой зоне химических элементов [21, 55, 337].

Ризосфера выделяет фосфатазу, которая снижает биодоступность свинца за счёт образования малоподвижного Са-замещённого пироморфита ( $Pb_5(PO_4)_3Cl$ ). Содержащие свинец кристаллы минералов осаждаются на корневом чехлике [361].

Геохимическая роль роренштейнов почв пойм малых рек г. Перми заключается в аккумуляции ТЭ (таблица 37, рисунок 19; приложение 6, таблицы 28, 29). По результатам определения валового содержания химических элементов в новообразованиях рассчитывали *коэффициент накопления* ( $K_x$ ), показывающий, во сколько раз интенсивность процесса аккумуляции элементов в новообразованиях больше интенсивности их накопления в почвенной массе:

$$K_x = C_{\text{в новообразованиях}} / C_{\text{во вмещающем мелкозёме}}, \quad (12)$$

где  $C$  – концентрации химического элемента в роренштейнах и почве.

Средние значения ( $n = 11$ ) коэффициентов накопления ( $K_x$ ) химических элементов в составе роренштейнов образуют следующий ряд:

$$P \ 6,4 > Fe \ 4,4 > Pb \ 3,9 > As \ 3,2 > Zn \ 2,9 > Mn \ 2,7 > Cu \ 1,8 > \\ Ca \ 1,7 > Cr \ 1,6 > Ni \ 1,5$$

Коэффициенты накопления у Р варьируют от 0,8 до 20,0 единиц, у Fe от 1,4 до 9,8, у Mn от 1,7 до 4,0 единиц. Сера накапливается в роренштейнах почв пойм рек Ива  $K_x = 1,3$ , Данилиха  $K_x = 2,5$  и Ласьва  $K_x = 1,5$ . Не накапливаются в новообразованиях К, Zr, Si, Al и Mg. Другие элементы, такие как Y, Rb, Ga, Cr, Sr, Ti, Zn, могут как накапливаться в новообразованиях, так и снижать своё содержание по сравнению с мелкозёмом. Кальций сильно поглощают роренштейны почвы поймы р. Ива  $K_x = 7,2$ . Медь, цинк и свинец хорошо аккумулируются роренштейнами ( $K_x$  достигает 3,4, 11,1 и 16,3 соответственно). Но никель в роренштейнах концентрируется в меньшей степени, в среднем  $K_x = 1,5$ .

Таблица 37

Ряды коэффициентов накопления и рассеивания ( $K_x$ )  
химических элементов в роренштейнах почв пойм нижних  
течений малых рек г. Перми

Горизонт, см	$K_x$
Разрез 80. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива	
AYg,ur,x, 0-15	P <sub>15,6</sub> Ca <sub>7,2</sub> As <sub>3,0</sub> (Mn,Sr) <sub>1,7</sub> Y <sub>1,6</sub> Fe <sub>1,4</sub> S <sub>1,3</sub> Pb <sub>0,8</sub> (Zn,Mg,Zr) <sub>0,7</sub> (Rb,Si,Ti) <sub>0,6</sub> (Al,K) <sub>0,5</sub> (Ga,Cu) <sub>0,4</sub> (Ni,Cr) <sub>0,3</sub>
Разрез 90. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха	
G <sup>~</sup> ,X, 15-30	Fe <sub>8,5</sub> Pb <sub>4,1</sub> Mn <sub>3,8</sub> Ni <sub>1,4</sub> Cu <sub>1,3</sub> Cr <sub>1,1</sub> (Ca,S,Ti) <sub>1,0</sub> Rb <sub>0,9</sub> (P,Zn,Y) <sub>0,8</sub> (Sr,Zr) <sub>0,7</sub> K <sub>0,6</sub> Si <sub>0,5</sub> Al <sub>0,4</sub> (Mg,As) <sub>0,3</sub> Ga <sub>0,2</sub>
Разрез 100. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха	
AYg,ur,X, 0-22	P <sub>9,6</sub> (Fe,Mn) <sub>3,9</sub> As <sub>3,0</sub> S <sub>2,5</sub> (Ca,Cu,Y) <sub>1,3</sub> (Sr,Pb) <sub>1,1</sub> (Ni,Zn) <sub>1,0</sub> (Ti,Cr) <sub>0,9</sub> (Rb,Zr,Si,K) <sub>0,8</sub> Al <sub>0,7</sub> Mg <sub>0,6</sub> Ga <sub>0,2</sub>
Разрез 110. Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка	
AYg,ur,X, 0-20	Fe <sub>6,9</sub> Cr <sub>4,5</sub> Ga <sub>3,3</sub> As <sub>2,8</sub> Cu <sub>2,6</sub> Pb <sub>2,5</sub> (Zn,Mn) <sub>2,3</sub> Ni <sub>1,9</sub> P <sub>1,4</sub> Ti <sub>1,1</sub> (S,Rb) <sub>0,9</sub> (Sr,K,Ca) <sub>0,8</sub> Y <sub>0,7</sub> (Zr,Si) <sub>0,6</sub> (Al,Mg) <sub>0,5</sub>
C1g <sup>~</sup> ,X, 20-40	P <sub>7,4</sub> Fe <sub>4,0</sub> Zn <sub>2,3</sub> (As,Mn) <sub>2,0</sub> Cr <sub>1,8</sub> (Cu,Ni) <sub>1,5</sub> Ti <sub>1,3</sub> (Pb,Sr) <sub>1,2</sub> Ca <sub>1,1</sub> (Rb,K) <sub>0,9</sub> (Y,Zr) <sub>0,8</sub> (Si,Al) <sub>0,7</sub> (S,Mg) <sub>0,5</sub> Ga <sub>0,2</sub>
G <sup>~</sup> ,X, 40-80	Fe <sub>9,8</sub> Pb <sub>5,4</sub> Cr <sub>4,3</sub> Ni <sub>3,4</sub> (P,Cu) <sub>2,7</sub> Mn <sub>2,0</sub> (As,Ga) <sub>1,0</sub> (Ti,Rb) <sub>0,9</sub> Sr <sub>0,7</sub> (Ca,Y) <sub>0,6</sub> (K,Zr) <sub>0,5</sub> (Zn,Si,Mg) <sub>0,4</sub> S <sub>0,3</sub> Al <sub>0,2</sub>
Разрез 111. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Верхняя Мулянка	
G <sup>~</sup> ,X, 30-70	P <sub>20,0</sub> (Mn,As) <sub>3,0</sub> Fe <sub>2,6</sub> (Cr,Ga) <sub>1,8</sub> (Cu,Sr,Zn) <sub>1,4</sub> Ni <sub>1,3</sub> (Ti,Ca) <sub>1,2</sub> Pb <sub>1,1</sub> (Rb,K) <sub>1,0</sub> (Y,Si,Al) <sub>0,8</sub> (Zr,Mg) <sub>0,7</sub> S <sub>0,4</sub>
Разрез 120. Урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма р. Ласьва	
C1g <sup>~</sup> ,X, 10-30	Pb <sub>16,3</sub> Zn <sub>6,5</sub> Cu <sub>3,4</sub> Fe <sub>2,6</sub> (Mn,Ga) <sub>1,9</sub> Ni <sub>1,7</sub> K <sub>1,6</sub> S <sub>1,5</sub> Rb <sub>1,4</sub> Mg <sub>1,3</sub> Ti <sub>1,1</sub> (P,Sr,Y) <sub>1,0</sub> (Al,Si) <sub>0,9</sub> (Ca,As,Cr) <sub>0,8</sub> Zr <sub>0,7</sub>
C2g,h <sup>~</sup> ,X, 30-50	As <sub>9,0</sub> P <sub>4,2</sub> Mn <sub>4,0</sub> Zn <sub>3,4</sub> Fe <sub>3,2</sub> Pb <sub>2,6</sub> Ga <sub>1,6</sub> (Ca,Y) <sub>1,3</sub> (Ni,Cu,Rb,Ti) <sub>1,1</sub> (K,Sr) <sub>1,0</sub> Mg <sub>0,9</sub> (Al,Si) <sub>0,8</sub> (S,Zr) <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,6</sub>
C3g <sup>~</sup> ,x, 50-80	Zn <sub>11,1</sub> As <sub>6,0</sub> Pb <sub>5,4</sub> P <sub>4,7</sub> Mn <sub>3,3</sub> Fe <sub>3,1</sub> Cu <sub>1,6</sub> Ca <sub>1,5</sub> (Ni,Y) <sub>1,3</sub> Rb <sub>1,2</sub> (S,Mg,Ti) <sub>1,1</sub> K <sub>1,0</sub> (Al,Sr) <sub>0,9</sub> Si <sub>0,8</sub> Zr <sub>0,6</sub> Ga <sub>0,5</sub> Cr <sub>0,3</sub>
C4g <sup>~</sup> ,x, 80-100	As <sub>4,3</sub> P <sub>3,0</sub> Cu <sub>2,2</sub> Mn <sub>2,1</sub> Zn <sub>1,9</sub> Fe <sub>1,8</sub> (Ni,Pb) <sub>1,7</sub> S <sub>1,4</sub> (Ca,Cr) <sub>1,3</sub> K <sub>1,2</sub> (Mg,Rb,Y,Ti) <sub>1,1</sub> Al <sub>1,0</sub> (Si,Ga,Sr) <sub>0,9</sub> Zr <sub>0,5</sub>
Среднее (n = 11)	P <sub>6,4</sub> Fe <sub>4,4</sub> Pb <sub>3,9</sub> As <sub>3,2</sub> Zn <sub>2,9</sub> Mn <sub>2,7</sub> Cu <sub>1,8</sub> Ca <sub>1,7</sub> Cr <sub>1,6</sub> Ni <sub>1,5</sub> (S,Ga) <sub>1,1</sub> (Rb,Sr,Y,Ti) <sub>1,0</sub> K <sub>0,9</sub> (Zr,Mg,Al,Si) <sub>0,7</sub>

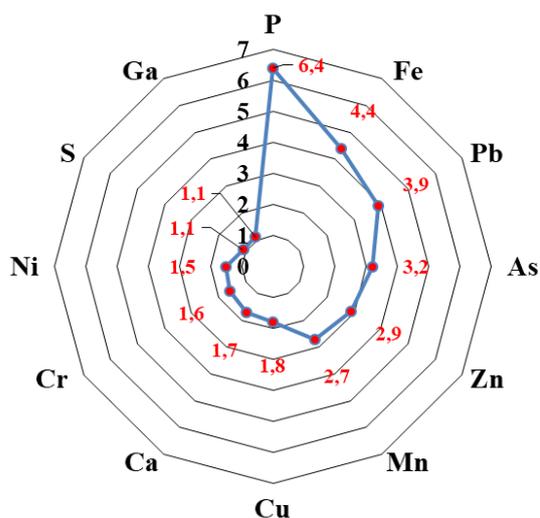


Рисунок 19. Коэффициенты накопления химических элементов в роренштейнах, выделенных из почв пойм малых рек г. Перми, n = 11.

Минералы железа, формирующие роренштейны, участвуют в фиксации ТЭ. Методом кластерного и корреляционного анализов в роренштейнах установлена достоверная связь содержания железа с концентрацией Cu и Ni ( $r = 0,7$ ) (таблица 38, рисунок 20). Известно, что Ni в конкрециях фиксируют гидроксиды железа [362]. Кроме этого, выявлена положительная тенденция взаимосвязи содержания железа и хрома  $r = 0,6$ . Вероятно, в роренштейнах Cr удерживается гематитом [53, 54]. У элементов Mn, Zn, Pb, Sr, As и P достоверной связи с Fe нет. Марганец проявляет тенденцию слабого сродства к As  $r = 0,4$ ; Ni  $r = 0,2$  и Zn  $r = 0,1$ . Слабая связь Mn с ТЭ объясняется его недостаточным накоплением в роренштейнах при доминировании восстановительных условий.

Таблица 38

Ряды коэффициентов корреляции ( $r$ ), характеризующие связь валового содержания химических элементов с Fe и Mn в роренштейнах из почв пойм малых рек города Перми, n = 11

Fe	<b>Cu<sub>0,74</sub></b> <b>Ni<sub>0,69</sub></b> Cr <sub>0,58</sub> Mn <sub>0,08</sub> S <sub>0,05</sub> Ga <sub>-0,12</sub> (Pb,P) <sub>-0,14</sub> Ti <sub>-0,19</sub> Zn <sub>-0,22</sub> Rb <sub>-0,27</sub> Ca <sub>-0,34</sub> As <sub>-0,48</sub> K <sub>-0,50</sub> Sr <sub>-0,55</sub> <b>Zr<sub>-0,76</sub></b> <b>Al<sub>-0,77</sub></b> <b>Mg<sub>-0,78</sub></b> <b>Si<sub>-0,79</sub></b> Y <sub>-0,81</sub>
Mn	As <sub>0,36</sub> Ga <sub>0,25</sub> Ni <sub>0,15</sub> Zn <sub>0,14</sub> Zr <sub>0,12</sub> Ti <sub>0,10</sub> Rb <sub>0,09</sub> Y <sub>0,06</sub> Cr <sub>0,05</sub> Si <sub>0,04</sub> Al <sub>0,01</sub> S <sub>-0,01</sub> Pb <sub>-0,02</sub> K <sub>-0,03</sub> P <sub>-0,04</sub> Mg <sub>-0,09</sub> Cu <sub>-0,14</sub> Sr <sub>-0,15</sub> Ca <sub>-0,17</sub>

Примечание: жирным выделены значения  $r$  достоверные при  $P = 0,95$ .

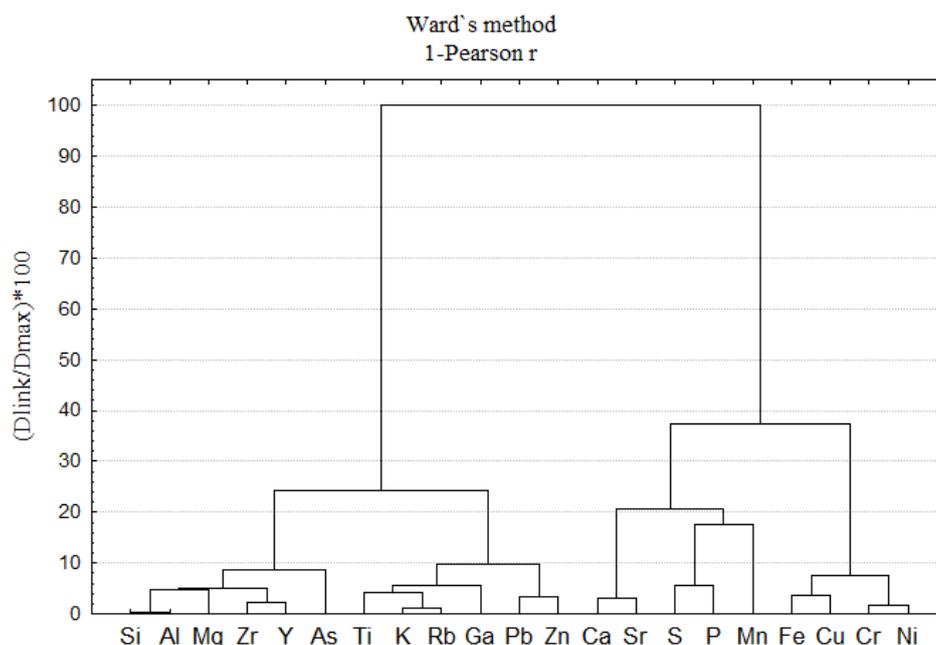


Рисунок 20. Дендрограмма кластерного анализа взаимосвязи химических элементов в роренштейнах из почв пойм малых рек города Перми, n = 11.

Таким образом, почвы пойм малых рек г. Перми загрязнены опасными для здоровья человека ТЭ: Ni, Cu, Zn, Pb и As, которые отчасти концентрируются в роренштейнах и временно выходят из биологического круговорота.

## ГЛАВА 5. КЛАССИФИКАЦИОННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПОЧВ ПОЙМ МАЛЫХ РЕК ГОРОДА ПЕРМИ

Эколого-геохимическая оценка изученных почв позволила уточнить их классификационное положение. В соответствии с Классификацией и диагностикой почв России [141], рекомендациями М.И. Герасимовой [73, 74], Т.В. Прокофьевой [247, 249], почвы пойм нижних течений малых рек г. Перми занимают следующее классификационное положение: **ствол** синлитогенные; **отдел** аллювиальные; **тип** антропогенно преобразованные; **подтипы** урбо-аллювиальные серогумусовые глеевые и глееватые; хемозёмы по урбо-аллювиальным серогумусовым глеевым почвам; **род** химически загрязнённые; **виды** слабо- (1–3 ПДК), мало- (3–5 ПДК) и среднезагрязнённые (5–10 ПДК); **разновидности** от супесчаных, среднесуглинистых до легкоглинистых; **разряд** на современных природно-техногенных аллювиальных отложениях.

В нижнем течении рек сформировались: в пойме р. Ива – урбо-аллювиальные серогумусовые глеевые, среднесуглинистые химически слабозагрязнённые Zn, Cu, Cr и S почвы; в пойме р. Ласьва – урбо-аллювиальные серогумусовые глееватые легкоглинистые химически слабозагрязнённые As и малозагрязнённые S почвы. В поймах нижних течений рек Егошиха, Данилиха и Верхняя Мулянка сформировались хемозёмы среднезагрязнённые Cr и S по урбо-аллювиальным серогумусовым глеевым, супесчано-среднесуглинистым почвам.

На территории южной окраины города в верхних течениях рек сформировались: в пойме р. Малая Ива – слабонарушенная аллювиальная серогумусовая глееватая, среднесуглинистая почва, а в поймах рек Егошиха и Данилиха – хемозёмы среднезагрязнённые S по аллювиальным серогумусовым глееватым, легко- и тяжелосуглинистым почвам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Параметры физико-химической поглотительной способности почвы (S и ЕКО), преимущественно нейтральная реакция среды, высокое содержание фосфора и преимущественно восстановительные ОВ-условия способствуют закреплению техногенных элементов в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. В профиле почв значения гН варьируют в интервале от интенсивно восстановительных (7,3) до окислительных (32,8); формируются глеевые геохимические барьеры.

2. Валовое содержание ТМ (Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Mn), мышьяка и серы превышает кларки, фоновые концентрации и ПДК. В полиэлементных геохимических аномалиях металлополлютанты сочетаются с S, P, Mg и Ca. Интенсивность загрязнения варьирует от слабой до средней и высокой, а уровень загрязнения – от допустимого до умеренно опасного и опасного.

3. Содержание легкоподвижных форм ТМ (Cu, Ni, Cr, Mn, Zn) в почвах пойм на территории промышленно-коммунальной зоны г. Перми превышает ПДК. Коэффициенты опасности загрязнения ( $K_{Op}$ ) подвижными формами ТМ составляют ряд: Cu 4,1 > Ni 4,0 > Cr 3,2 > Mn 1,8 > Zn 1,4, что соответствует чрезвычайно опасному и высокоопасному уровням загрязнения. Доля легкоподвижных форм ТМ от общего содержания ( $K_{МА}$ , %) отличается для разных ТМ. Средние и максимальные значения  $K_{МА}$  составляют геохимический ряд: Mn 25-32 > Pb 17-34 > Zn 12-27 > Cu 11-23 > Ni 6-15 > Cr 3-6 > Fe 1%.

4. Гидроксиды и оксиды железа являются носителями и геохимически активными центрами аккумуляции ТЭ. В почвах пойм рек Егошиха и Данилиха значительная часть потенциально подвижных форм Mn, Zn, Ni и Cu сосредоточена в составе аморфных тонкодисперсных гидроксидов железа, гематита, литогенного и техногенного магнетита. Доля потенциально подвижных оксалаторастворимых соединений ТМ

( $K_{MnO}$ , %) высокая. Средние и максимальные значения  $K_{MnO}$  составляют для Zn 38-72%, Cu 37-51%, Ni 27-47%, Mn 27-37%, Fe 8-16% от общего содержания в почве.

Валовое содержание Ni и Cu, нормированное по железу, и величина удельной магнитной восприимчивости достоверно связаны ( $r = 0,5-0,6$ ).

5. Локальными геохимическими аномалиями в почвах пойм являются роренштейны, для которых коэффициенты накопления ( $K_x$ ) Pb, As, Zn, Cu, Cr, Ni составляют от 1,5 до 3,9 единиц. В составе роренштейнов Cu и Ni достоверно связаны с Fe (при  $r = 0,7$ ).

6. В поймах нижних течений р. Егошиха и р. Данилиха сформировались супесчано-среднесуглинистые хемозёмы среднезагрязнённые Cr и S по урбо-аллювиальным серогумусовым глеевым почвам, а в поймах верхнего течения этих рек – хемозёмы среднезагрязнённые S по аллювиальным серогумусовым глееватым, легко- и тяжелосуглинистым почвам. В пойме нижнего течения р. Ива сформировались урбо-аллювиальные серогумусовые глеевые среднесуглинистые химически слабозагрязнённые Zn, Cr, Cu и S почвы. В пойме р. Верхняя Мулянка – хемозём среднезагрязнённый S по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой среднесуглинистой почве. В пойме р. Ласьва – урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая химически слабозагрязнённая As и малозагрязнённая S почва. В пойме р. Малая Ива – аллювиальная серогумусовая глееватая, среднесуглинистая почва.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А.О. Магнитные свойства и минералогия соединений железа в степных почвах / А.О. Алексеев, Т.В. Алексеева, Б.А. Махер // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 62-74.
2. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю. В. Алексеев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с. – ISBN 978-5-86763-213-7.
3. Алексеенко, В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитенных ландшафтов: монография / В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко. – Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с. – ISBN 978-5-9275-1095-5.
4. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области: учебное пособие / В.А. Алексеенко, А.В. Суворинов, В.Ап. Алексеенко, А.Б. Бофанова. – М.: Логос, 2002. – 312 с. – ISBN: 5-94010-059-7.
5. Алибаева, Л.Г. Оценка уровня загрязнения тяжёлыми металлами аллювиальных почв рек Башкирского Зауралья / Л.Г. Алибаева, А.Ю. Кулагин // Вестник удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2012. – № 2. – С. 3-9.
6. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
7. Аристовская, Т.В. Микробиология процессов почвообразования / Т.В. Аристовская. – Л.: Наука. 1980. – 187 с.
8. Асылбаев, И.Г. Экологическая оценка содержания тяжёлых металлов в почвах Южного Урала / И.Г. Асылбаев, И.К. Хабиров // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 84-96.
9. Афанасьева, Т.В. К вопросу о зональности пойменных почв / Т.В. Афанасьева, М.В. Сумерин, Б.В. Шеремет // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 1983. – № 1. – С. 26-32.
10. Ахтырцев, Б.П. Тяжёлые металлы и радионуклеиды в гидроморфных почвах лесостепи Русской равнины и их профильное распределение / Б.П. Ахтырцев, А.Б. Ахтырцев, Л.А. Яблонских // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 435-444.
11. Ахтямова, Г.Г. Газообразование в техногенных речных илах и его эколого-геохимическая роль / Г.Г. Ахтямова, Е.П. Янин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2007. – № 1. – С. 43-49.
12. Ашихмина, Т.Я. Содержание тяжелых металлов в почвах и донных отложениях вблизи Кирово-чепецкого химического комбината / Т.Я. Ашихмина, С.Г. Скугорева, Т.А. Адамович // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 11 (65). – С. 110-112.
13. Бабанин, В.Ф. Магнитная восприимчивость почв и аллювиальных отложений поймы р. Оби / В.Ф. Бабанин, П.Н. Балабко, Н.В. Верховцева, Л.А. Палечек // Почвоведение. – 1982. – № 5. – С. 133-136.
14. Магнетизм почв: монография / В.Ф. Бабанин, В.И. Трухин, Л.О. Карпачевский [и др.]. – М.: Ярославль : Яросл. гос. техн. ун-т, 1995. – 222 с.
15. Эколого-геохимические исследования техногенных почв в пойменных ландшафтах Северского Донца (бассейн Нижнего Дона) / Т.В. Бауэр, Т.М. Минкина, В.Г. Линник [и др.] // Геохимия. – 2018. – № 10. – С. 956-966.
16. Безносиков, В.А. Оценка фонового содержания тяжёлых металлов в почвах европейского северо-востока России / В.А. Безносиков, Е.Д. Лодыгин, Б.М. Кондратёнок // Почвоведение. – 2007. – № 9. – С. 1064-1070.
17. Безуглова, О.С. О нормировании содержания мышьяка в почвах / О.С. Безуглова, А.А. Околелова // Электронное периодическое издание ЮФУ «Жи-

вые и биокосные системы». – 2012. – № 1. URL:<http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-7> – (дата обращения: 20.10.2020).

18. Влияние термических и механических воздействий на состав и структуру железистых хлоритов / В.Ф. Белов, Е.П. Вальяшихина, Е.В. Власова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1974. – № 8. – С. 50-59.

19. Бенкрофт, Г. Применение эффекта Мессбауэра к минералогии силикатов: I. Силикаты железа с известной структурой / Г. Бенкрофт, А. Меддок, Р. Барнс // Физика минералов. – М.: Мир, 1971. – С.179-204.

20. Беус, А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, И.И. Грабовская, Н.В. Тихонова. – М.: Недра, 1976. – 267 с.

21. Блэк, К.А. Растения и почва / К. А. Блэк ; Пер. с англ. канд. с.-х. наук Э. И. Шконде ; Под ред. и с предисл. д-ра биол. наук Т. А. Работнова. – Москва : Колос, 1973. – 503 с.

22. Бутовский, Р.О. Тяжёлые металлы как техногенные химические загрязнители и их токсичность для почвенных беспозвоночных животных / Р.О. Бутовский // Агрехимия. – 2005. – № 4. – С. 73-91.

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

24. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

25. Вальков, В.Ф. Почвоведение : учеб. для вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Москва ; Ростов н/Д : МарТ, 2004. – 496 с. – ISBN 5-241-00405-X .

26. Варава, О.А. Особенности почв городских речных долин на примере Москвы-реки / О.А. Варава, Т.В. Прокофьева // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 12-19.

27. Васильев, А.А. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения : монография / А.А. Васильев, А.Н. Чащин. – Пермь : ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 197 с.

28. Васильев, А.А. Окислительно-восстановительное состояние и оптические свойства урбо-аллювиальных почв пойм малых рек Пермской агломерации / А.А. Васильев, М.Н. Власов // Инновации аграрной науки – предприятиям АПК [Текст] : материалы Международной научно-практической конференции (Пермь, 24-25 апреля 2012 года) : [в 3 ч.] / М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д. Н. Прянишникова" ; [науч. редкол.: Ю. Н. Зубарев и др.]. – Пермь : Пермская ГСХА, 2012. – Ч. 1. – С. 166-172.

29. Васильев, А.А. Подвижные формы тяжёлых металлов в урбо-аллювиальных почвах пойм малых рек г. Перми / А.А. Васильев, М.Н. Власов // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (18 мая 2012 г.). Уфа: Зауральский филиал ФГБОУ ВПО «Башкирский ГАУ», 2012. – С. 186-189.

30. Васильев, А.А. Железо и тяжёлые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья : монография / А.А. Васильев, А.В. Романова. – Пермь : Прокрость, 2014. – 231 с. – ISBN 978-5-94279-210-7

31. Нестехиометрический магнетит в почвах урбанизированных территорий Пермского края / А.А. Васильев, А.Н. Чащин, Е.С. Лобанова М.В. Разинский // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 2 (6). – С. 43-55.

32. Васильев, А.А. Цвет и гидроморфизм почв Пермского края / А.А. Васильев, А.В. Романова, В.Ю. Гилев // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 1 (5). – С. 28-38.
33. Васильев, А.А. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми : монография / А.А. Васильев, Е.С. Лобанова. – Пермь : Прокрость, 2015. – 243 с. – ISBN 978-5-94279-257-2
34. Власов М.Н. Вклад магнитной фракции в содержание тяжёлых металлов в урбо-аллювиальных почвах пойм малых рек г. Перми / М.Н. Власов, А.А. Мартынова // Молодёжная наука 2015: технологии, инновации: материалы LXXIV Всероссийской научно-практической конференции (г. Пермь, 10-13 марта 2015 г.) – в 3 ч. – Ч. 1 / Пермская государственная с.-х. академия. – Пермь : Прокрость, 2015. – С. 155-158.
35. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во Академии наук СССР. 1957. – 237 с.
36. Водяницкий, Ю.Н. Образование оксидов железа в почве / Ю.Н. Водяницкий; Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М.: Почв. ин-т, 1992. – 276 с. – ISBN 5-7010-0256-X
37. Водяницкий, Ю.Н. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах / Ю.Н. Водяницкий, В.В. Добровольский. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998. – 216 с. – ISBN: 5-86921-027-5
38. Водяницкий, Ю.Н. О растворимости реактивом Тамма железистых минералов / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2001. – № 10. – С. 1217-1229.
39. Водяницкий, Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. – 236 с. – ISBN: 5-86921-052-6
40. Водяницкий, Ю.Н. Изучение некоторых почвенных процессов по цвету почв / Ю.Н. Водяницкий, Л.Л. Шишов. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2004. – 88 с. – ISBN: 5-86921-059-3
41. Водяницкий, Ю.Н. Изучение тяжёлых металлов в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2005. – 109 с. ISBN: 5-85941-207-X
42. Водяницкий, Ю.Н. Оксиды марганца в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2005. – 95 с. – ISBN 5-86921-061-5
43. Водяницкий, Ю.Н. Химия, минералогия и цвет оглеенных почв / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2006. – 170 с. – ISBN: 5-85941-143-X
44. Влияние железосодержащих пигментов на цвет почв на аллювиальных отложениях Средне-Камской равнины / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, А.В. Кожева [и др.] // Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 318-330.
45. Водяницкий, Ю.Н. Магнитная восприимчивость аллювиальных почв Воткинского водохранилища в пределах г. Перми / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов // Известия Самарской ГСХА. – 2007. – № 4. – С. 37-40.
46. Водяницкий, Ю.Н. Тяжёлые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 164 с. – ISBN: 978-5-85941-267-9
47. Водяницкий, Ю.Н. Содержание тяжёлых металлов в почвах Перми / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, Е.С. Лобанова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 4. – С. 37-40.

48. Водяницкий, Ю.Н. Гидрогенное загрязнение тяжёлыми металлами аллювиальных почв г. Пермь / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1399-1408.
49. Водяницкий, Ю.Н. Сродство тяжёлых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2008. – № 9. – С. 87-94.
50. Водяницкий, Ю.Н. Роль почвенных компонентов в закреплении техногенных As, Zn и Pd в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2008. – № 1. – С. 83-91.
51. Водяницкий, Ю.Н. Тяжёлые металлы в почвах пойм и на водоразделе верхних течений рек Ива, Егошиха и Данилиха г. Перми / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов // Пермский аграрный вестник, LXIX Всероссийская науч.-практическая конф. молод. уч. аспирантов и студентов (17-18 мар. 2009 г.). – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. – С. 81-83.
52. Водяницкий, Ю.Н. Загрязнённость тяжёлыми металлами и металлоидами почв г. Перми / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, Е.С. Лобанова // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 60-68.
53. Водяницкий, Ю.Н. Хром и мышьяк в загрязнённых почвах (обзор литературы) / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 551-559.
54. Водяницкий, Ю.Н. Тяжёлые и сверхтяжёлые металлы и металлоиды в загрязнённых почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. – 184 с. – ISBN: 978-5-85941-327-0
55. Роль соединений железа в закреплении тяжёлых металлов и мышьяка в аллювиальных и дерново-подзолистых почвах в районе г. Пермь / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов, В.В. Коровушкин // Почвоведение. – 2009. – № 7. – С. 794-805.
56. Водяницкий, Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010. – 155 с. – ISBN 978-5-85941-371-3
57. Водяницкий, Ю.Н. Минералы железа в городских почвах / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1519-1526.
58. Водяницкий, Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжёлых металлов в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С. 420-432.
59. Водяницкий, Ю.Н. Железо в гидроморфных почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2017. – 160 с. – ISBN 978-5-904761-71-4
60. Войтович, Н.В. Пойменные почвы Нечерноземной зоны Западной Сибири и повышение их продуктивности / Н. В. Войтович. – Москва : [б. и.], 2000. – Ч. 1. – 2000. – 132 с. – ISBN 5-85941-027-1
61. Волгин, Д.А. Фоновый уровень и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Московской области / Д.А. Волгин // Вестник Московского государственного областного университета. – 2011. – № 1. – С. 26-33.
62. Ворончихина, Е.А. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове г. Перми / Е.А. Ворончихина, А.Ю. Запоров // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала : Межвуз. сб. науч. тр. / М-во образования Рос. Федерации. Перм. гос. ун-т; [Редкол.: Н. Н. Назаров (гл. ред.) [и др.]. – Пермь, 2000. – С. 134-142.
63. Ворончихина, Е.А. Технофильные металлы в естественных и урбанизированных экосистемах Пермского края / Е.А. Ворончихина, С.М. Блинов, Е.А. Меньшикова // Экология урбанизированных территорий. – 2013. – № 1. – С. 103-108.
64. Высоцкий, Г.Н. Глей / Г.Н. Высоцкий // Избранные сочинения : [В 2 т.] / [Отв. ред.: академ. И. В. Тюрин и проф. А. А. Роде] ; [Предисл. А. А. Роде] ; Акад.

наук СССР. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1962. Т. 2. – С. 70-91.

65. Габбасова, И.М. Окислительно-восстановительный режим в осушенных пойменных почвах северной лесостепи Башкирии : специальность 06.01.03 «Почвоведение» : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук / Габбасова Илюся Масгутовна ; [Место защиты: Московская орден Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева]. – Москва, 1980. – 22 с.

66. Гаврилова, И.П. Мелкомасштабное картографирование микроэлементов в почвах: эволюция методологии составления (и содержания карт) за прошедшие полвека / И.П. Гаврилова, М.И. Герасимова, М.Д. Богданова // Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2004. – С. 103-114.

67. Галиулин, Р.В., Галиулина Р.А. Загрязнение системы почва-вода-гидрофит-донные отложения канцерогенными веществами при техногенезе / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Вода: химия и экология. – 2012. – № 7. – С. 13-17.

68. Гамаюрова, В.С. Мышьк в экологии и биологии / В.С. Гамаюрова. – М.: Наука, 1993. – 208 с. – ISBN 5-02-001946-1

69. Гареев, А.М. Зоны предохраны водных объектов в пределах урбанизированных территорий: методические положения выделения и их водоохранная значимость (на примере Уфимского промышленного узла) / А.М. Гареев // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2009. – № 4. – С. 31-39.

70. Генеральный план города Перми. Краткое изложение обоснований проекта генерального плана города Перми. – Пермь. ООО «Студия «ЗёБРА», 2010. – 142 с.

71. Геологический словарь : В 2 т. / Гл. ред.: акад. К. Н. Паффенгольц (отв. ред.) и др. – [2-е изд., перераб.]. – Москва : Недра, 1973. – 2 т. – Т. 1: А-М / Ред. коллегия: Т.Н. Алихова [и др.]. – 486 с.

72. Геологический словарь : В 2 т. / Гл. ред.: акад. К. Н. Паффенгольц (отв. ред.) и др. – [2-е изд., перераб.]. – Москва : Недра, 1973. – 2 т. – Т. 2: Н-Я / Ред. коллегия: Т. Н. Алихова [и др.]. – 456 с.

73. Антропогенные почвы: (генезис, география, рекультивация) : [Учебное пособие по специальности и направлению (013000 и 510700) "Почвоведение"] / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева. – М. ; Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с. – ISBN 5-93520-039-2.

74. Антропогенные почвы : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2017. – 263 с. – (Университеты России). – ISBN 978-5-534-04806-3.

75. Гилев, В.Ю. Оксидогенез и редуктогенез в почвах на элювии и делювии пермских глин Среднего Предуралья : специальность 06.01.03 «Агрочвоведение, агрофизика»; 03.00.27 «Почвоведение» : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук / Гилев Виталий Юрьевич ; [Место защиты: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН]. – Москва, 2007. – 22 с.

76. Гипергенные окислы железа в геологических процессах / [Отв. ред. д-р геол.-минерал. наук, проф. Н. В. Петровская] ; АН СССР. Ин-т геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Москва : Наука, 1975. – 207 с.

77. Гладышева, М.А. Выявление ареалов техногенно-загрязнённых почв Москвы по их магнитной восприимчивости / М.А. Гладышева, А.В. Иванов, М.Н. Строганова // Почвоведение. – 2007. – № 2. – С. 235-242.

78. Глазовская, М.А. Геохимические функции микроорганизмов : [Метод. пособие] / М.А. Глазовская, Н.Г. Добровольская. – М.: МГУ, 1984. – 152 с.
79. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР : [Учеб. пособие для ун-тов по спец. "География"] / М.А. Глазовская. – М. : Высшая Школа, 1988. – 328 с. – ISBN 5-06-001144-5
80. Глазовская, М.А. Природные ландшафтно-геохимические процессы и их проявление на территории СССР / М.А. Глазовская // Вестник МГУ. Серия География. – 1988. – № 5. – С. 3-9.
81. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: (ландшафтно-геохимические процессы) : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 020401 – География и 020804 – Геоэкология / М.А. Глазовская. – Москва : Географический факультет МГУ, 2007. – 350 с. – ISBN 5-85941-225-8.
82. Глазовская, М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение / М.А. Глазовская // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2012. – № 1. – С. 8-14.
83. Голодная, О.М. Особенности гранулометрического состава и плотности освоенных аллювиальных почв Дальнего Востока / О.М. Голодная, Е.А. Жарикова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2016. – № 1 (42). – С. 19-26.
84. Горбатов, В.С. Устойчивость и трансформация оксидов тяжёлых металлов (Zn, Pb, Cd) в почвах / В.С. Горбатов // Почвоведение. – 1988. – № 1. – С. 35-43.
85. Горбатов, В.С. Адсорбция Zn, Pb, Cd почвой и кислотно-основное равновесие / В.С. Горбатов, Н.Г. Зырин // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 1988. – № 3. – С. 21-25.
86. Горбунов, Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения / Н.И. Горбунов. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 302 с.
87. Государственный доклад "Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2004 году". – Пермь: ОГУ «Аналитический центр», 2005. URL: <http://permecology.ru/report2004.php>. (дата обращения: 20.10.2020).
88. Гущина, А.М. Почвы поймы реки Немды / А.М. Гущина // Рациональное использование и охрана почв Нечерноземья : межвузовский сборник научных трудов / Пермский сельскохозяйственный институт ; ред. Ю. В. Щербаков [и др.]. – Пермь : [б. и.], 1987. – С. 48-51.
89. Двинских, С.А. Экологическое состояние малых рек города Перми / С.А. Двинских, А.Б. Китаев // Географический вестник. – 2011. – № 2 (17). – С. 32-43.
90. Эколого-геохимическое состояние аллювиальных почв пойменных ландшафтов реки Елань в пределах южного Битюго-Хопёрского эколого-географического района лесостепной провинции Окско-Донской равнины / Т.А. Девятова, Л.А. Яблонских, А.В. Белик, И.В. Румянцева // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9. – № 2 (34). – С. 32-40.
91. Дмитраков, Л.М. Изменение пойменных почв при усилении антропогенной нагрузки / Л.М. Дмитраков, О.А. Соколов // Почвоведение. – 1997. – № 8. – С. 988-993.
92. Дмитраков, Л.М. Изменение микроэлементного состава пойменных почв при колебании антропогенной нагрузки / Л.М. Дмитраков, Л.К. Дмитракова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 1. – С. 32-36.
93. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А.

Дмитриев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 328 с. – ISBN: 9785397000390

94. Добровольский, В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 270 с.

95. Добровольский, В.В. Биосферные циклы тяжёлых металлов и регуляторная роль почвы / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1997. – № 4. – С. 431-441.

96. Добровольский, В.В. Высокодисперсные частицы почв как фактор массопереноса тяжёлых металлов в биосфере / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 11. – С. 1309-1317.

97. Добровольский, В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639-645.

98. Добровольский, В.В. Минералого-геохимические провинции почвообразующих пород Русской равнины / В.В. Добровольский // Геохимия почв и ландшафтов. – М.: Научный мир, 2009. – С 111-118. – ISBN 978-5-91522-017-0

99. Добровольский, Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины / Г.В. Добровольский ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Ин-т экол. почвоведения, Фак. почвоведения. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 290 с. – ISBN 5-211-05098-3 : 400.

100. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия / Г.В. Добровольский, П.Н. Балабко, Н.В. Стасюк, Е.П. Быкова // Аридные экосистемы. – 2011. – Т. 17. – № 3 (48). – С. 5-13.

101. Егоров, А.Г. Изменение твёрдости почв прибрежных территорий среднего течения реки Томи в условиях рекреационного воздействия / А.Г. Егоров // Современные проблемы науки и образования. – 2010. – № 2. – С. 9-14.

102. Емельянов, Е.М. О причинах повышенных содержаний мышьяка в Балтийском море и Вислинском заливе / Е.М. Емельянов, В.А. Кравцов // Геохимия. – 2007. – № 8. – С. 871-888.

103. Трансформация почвенного покрова Пермской области / О.З. Еремченко, Н.В. Орлова, В.И. Каменщикова [и др.] // Региональный конкурс РФФИ–Урал, Результаты научных исследований, полученные за 2002 г., Аннотационные отчёты. – Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2003. – С. 190-194.

104. 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.

105. Еремченко, О.З. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья : монография / О.З. Еремченко, И.Е. Шестаков, Н.В. Москвина – Пермь : Издательский центр ПГНИУ, 2016. – 252 с. – ISBN 978-5-7944-2753-0

106. Зайдельман, Ф.Р. Подзоло- и глееобразование / Ф.Р. Зайдельман. – Москва : Наука, 1974. – 208 с.

107. Зайдельман, Ф.Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв : Деградация, польза и охрана / Ф.Р. Зайдельман. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 287 с. – 288 с. – ISBN 5-286-00741-6

108. Зайдельман, Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв / Ф.Р. Зайдельман – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 299 с. – ISBN 5-211-03927-0.

109. Зайдельман, Ф.Р. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон : монография / Ф.Р. Зайдельман, А.С. Никифорова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 216 с. ISBN 5-211-03899-1

110. Зайдельман, Ф.Р. Гидроморфные почвы / Ф.Р. Зайдельман // Почвоведение. – 2003. – № 8. – С. 911-920.
111. Зайдельман, Ф.Р. Морфоглеогенез, его визуальная и аналитическая диагностика / Ф.Р. Зайдельман // Почвоведение. – 2004. – № 4. – С. 389-398.
112. Зайдельман, Ф.Р. Влияние глееобразования и сульфатредукции на разных породах на свойства лизиметрических вод (модельный эксперимент) / Ф.Р. Зайдельман, Н.Н. Дзизенко, С.М. Черкас // Почвоведение. – 2013. – № 9. – С. 1073-1083.
113. Зайдельман, Ф.Р. Глееобразование как фактор почвообразования и деградации почв, способы их защиты / Ф.Р. Зайдельман // Почвоведение. – 2017. – №7 – С. 849-859.
114. Зонн, С.В. Методы определения несиликатных форм железа в почвах / С.В. Зонн, А.Н. Рукака // Почвоведение. – 1978. – № 2. – С. 89-101.
115. Зонн, С.В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты) / С.В. Зонн. – Москва : Изд-во Наука, 1982. – 207 с.
116. Изерская, Л.А. Формы соединений тяжёлых металлов в аллювиальных почвах средней Оби / Л.А. Изерская, Т.Е. Воробьёва // Почвоведение. – 2000. – № 1. – С. 56-62.
117. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растения / В.Б. Ильин. – Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1991. – 150 с. – ISBN 5-02-029422-5
118. Ильин, В.Б. О надёжности гигиенических нормативов содержания тяжёлых металлов в почвах / В.Б. Ильин // Агрохимия. – 1992. – № 12. – С. 78-85.
119. Ильин, В.Б. Тяжёлые металлы в городских почвах / В.Б. Ильин // Сибирский экологический журнал. – 2002. – Т. 9. – № 3. – С. 285-292.
120. Ильин, В.Б. Геохимическая ситуация на территории Обь-Иртышского междуречья / В.Б. Ильин // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1442-1452.
121. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растения : монография / В.Б. Ильин ; отв. ред. А.И. Сысо. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. – 219 с. – ISBN 978-5-7692-1229-1
122. Инструктивное письмо «О выполнении работ по определению загрязнения почв» № 02-10/51-2333 от 10.12.1990 г. – М.: Госкомприрода СССР, 1990. – 11 с.
123. Исаев, А.В. Эколого-геохимическая характеристика аллювиальных отложений в средней части реки Большая Кокшага и их роль в формировании почвенного покрова / А.В. Исаев, Р.Н. Шарафутдинов, Б.И. Гареев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – 2020. – № 9. – С. 8-29.
124. Экогеохимия аллювиальных луговых и дерново-луговых почв заповедника «Большая Кокшага» / А.В. Исаев, Ю.П. Демаков, Р.Н. Шарафутдинов, И.И. Митякова // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – 2020. – № 9. – С. 30-71.
125. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. Перевод с английского. канд. геол.-мин. наук Д.В. Гричука и канд. геол.-мин. наук Е.П. Янина. под редакцией д-ра геол.-мин. наук. Ю.Е. Саета. – Москва: «Мир», 1989. – 436 с.
126. Калинина, Т.А. О природно-техногенных осадках рек города Перми / Т.А. Калинина // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Т. Чирвинского. – 2010. – № 13. – С. 196-200.
127. Калманова, В.Б. Экологическое состояние почвенного покрова и растительности пойменной территории реки Бира в пределах г. Биробиджана / В.Б. Калманова // Региональные проблемы. – 2008. – № 9. – С. 75-77.

128. Калманова, В.Б. Анализ распределения свинца в системе почва-растительность г. Биробиджан / В.Б. Калманова // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8. – С. 1605-1611.
129. Караванова, Е.И. Оптические свойства почв и их природа / Е.И. Караванова. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 152 с. – ISBN 5-211-04787-7
130. Карманов, И.И. Спектральная отражающая способность и цвет почв как показатели их свойств / И.И. Карманов. – М.: Колос, 1974. – 351 с.
131. Карпухин, М.М. Влияние компонентов почвы на поглощение тяжелых металлов в условиях техногенного загрязнения / М.М. Карпухин, Д.В. Ладонин // *Почвоведение*. – 2008. – № 11. – С. 1388-1398.
132. Карпухин, М.Ю. Деградиационные изменения почв поймы реки Миасс / М.Ю. Карпухин, Л.А. Сенькова // *Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию создания кафедры "Землеустройство и кадастры" и 70-летию со дня рождения основателя кафедры, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Туктарова Б.И* / Под ред. В.А. Тарбаева. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2015. – С. 159-165.
133. Эколого-геохимические оценки городов / Н.С. Касимов, В.В. Батоян, Т.М. Белякова [и др.] // *Вестник МГУ. Серия 5. География*. – 1990. – № 3. – С. 3-12.
134. Касимов, Н.С. Геохимическая оценка состояния ландшафтов речного бассейна по донным отложениям / Н.С. Касимов, Р.Л. Пенин // *Мониторинг фонового загрязнения природных сред*. – 1991. – Вып. 7. – С. 123-135.
135. Касимов, Н.С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // *Вестник МГУ. Серия 5. География*. – 2015. – № 2. – С. 7-17.
136. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы / Н.С. Касимов, Д.В. Власов, Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова. – М.: АПР, 2016. – 276 с. – ISBN 978-5-904761-62-2.
137. Катаев, В.Н. Гидрогеохимические особенности подземных вод четвертичных отложений на территории города Перми / В.Н. Катаев, И.В. Щукова // *Современные наукоемкие технологии*. – 2009. – № 3. – С. 62.
138. Кауричев, И.С. Типы окислительно-восстановительного режима почв / И.С. Кауричев // *Почвоведение*. – 1979. – № 3. – С. 35-45.
139. Кауричев, И.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И.С. Кауричев, Д.С. Орлов. – М.: Колос, 1982. – 247 с.
140. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия: [Учеб. для с.-х. вузов] / В.И. Кирюшин. – Москва : Колос, 1996. – 366 с. – ISBN 5-10-003342-8
141. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева [и др.]. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с. – ISBN 5-93520-044-9.
142. Ковда, В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда; Отв. ред. С.В. Зонн. – Москва : Наука, 1985. – 272 с.
143. Ковриго, В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография / В.П. Ковриго. – Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.
144. Коган, Р.М. Кислотность почв как показатель экологического состояния городской территории (на примере г. Биробиджана) / Р.М. Коган, В.Б. Калманова // *Региональные проблемы*. – 2008. – № 10. – С. 83-86.
145. Экологическое функционирование почв города Иркутска / А.А. Козлова, А.П. Макарова, Л.А. Иванюта, Н.В. Вашукевич // *Acta Biomedica Scientifica*. – 2006. – № 2. – С. 50-56.
146. Козловский, Ф.И. Мелиоративные проблемы освоения пойм степной

- зоны / Ф.И. Козловский, Э.А. Корнблум. – М.: Наука, 1972. – 220 с.
147. Колесников, С.И. Экологические последствия загрязнения почв тяжёлыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону : Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 231 с. – ISBN 5-87872-044-2
148. Колесников, С.И. Влияние загрязнения тяжёлыми металлами на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия в чернозёме обыкновенном / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 54-59.
149. Колесников, С.И. Эколого-биологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения: монография / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону: Изд-во Росиздат, 2006. – 385 с.
150. Комлев, А.М. Реки Пермской области: режим, ресурсы, прогнозы, проблемы / А.М. Комлев, Е.А. Черных. – Пермь: Перм. кн. изд., 1984. – 214 с.
151. Копылов, И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье / И.С. Копылов // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. – 2012. – Вып. 2 (15). – С. 16-34.
152. Копылов, И.С. Аномалии тяжёлых металлов в почвах и снежном покрове города Перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза / И.С. Копылов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-2. – С. 335-339.
153. Кораблева, Л.И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрения пойменных почв Нечерноземной зоны / Л.И. Кораблева. – М.: Наука, 1969. – 278 с.
154. Коробова, Е.М. Комплексная оценка эколого-геохимического состояния техногенно трансформированных территорий / Е.М. Коробова // Геохимия. – 2017. – № 10. – С. 863-874.
155. Коровина, Е.В. Оценка состояния почвенного покрова урбоэкосистемы / Е.В. Коровина, Г.А. Сатаров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 3 (17). – С. 157-161.
156. Коровушкин, В.В. Кристаллохимия минералов железа и олова в решении задач прикладной минералогии (по данным мессбауэровской спектроскопии) : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография»: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук / Коровушкин Владимир Васильевич ; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т минерального сырья им. Н. М. Федоровского]. – Москва, 2003. – 47 с.
157. Костенков, Н.М. Окислительно-восстановительные режимы в почвах периодического переувлажнения: (Дальний Восток) / Н.М. Костенков; Отв. ред. А.М. Ивлев. – М.: Наука, 1987. – 190 с.
158. Кошелева, Н.Е. Факторы накопления тяжёлых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 536-553.
159. Кошельков, А.М. Оценка химического загрязнения почв водоохраных зон малых рек города Хабаровска / А.М. Кошельков, Л.А. Матюшкина // Региональные проблемы. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 76-85.
160. Кропачев, А.М. Сорбция малых (акцессорных) элементов супераквальными отложениями рек / А.М. Кропачев, Т.С. Кропачева // Аллювий. – Пермь : [б. и.], 1967. – Вып. 1. – С. 92-96.
161. Крылова, М.Д. Главные тёмноцветные минералы высокотемпературных комплексов : (Вопр. минералогии, петрологии и геохимии) : Справ. пособие / М.Д. Крылова, В.А. Галибин, Д.П. Крылов. – Л.: Недра : Ленингр. отд-ние, 1991. – 248 с. – ISBN 5-247-02137-1

162. Кузнецов, В.А. Геохимия аллювиального литогенеза / В.А. Кузнецов. – Минск: Наука и техника, 1973. – 280 с.
163. Кузнецов, В.А. Геохимические корреляции в речных долинах / В.А. Кузнецов. – Минск.: Наука и техника, 1984. – 288 с.
164. Куимова, Н.Г. Экологическое состояние почв г. Благовещенска / Н.Г. Куимова, Л.П. Шумилова // Проблемы экологии верхнего Приамурья: сб. научн. тр. под ред. проф. Л.Г. Колесниковой. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2012. – Т.14. – С. 46-60.
165. Кулижский, С.П. Геохимическая дифференциация почв котловины озера Шира / С.П. Кулижский, А.В. Родикова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2009. – № 3 (7). – С. 103-108.
166. Кулижский, С.П. Особенности формирования элементного состава элювиальных почв транзитных позиций ландшафтных геохимических арен Ширинской степи / С.П. Кулижский, А.В. Родикова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 6 (142). – С. 94-97.
167. Кулижский, С.П. Содержание и распределение химических элементов в почвах озерных депрессий Ширинской степи Чулымо-Енисейской впадины / С.П. Кулижский, А.В. Родикова, В.Ф. Шамшаева // Сибирский экологический журнал. – 2012. – Т. 19. – № 5. – С. 711-718.
168. Оценка состояния почв и грунтов при проведении инженерно-экологических изысканий. Серия: Экологическое сопровождение градостроительной деятельности / А.С. Курбатова [и др.] ; [отв. ред. : А.С. Курбатова, В.Н. Башкин]. – М.: Научный мир, 2005. – 180 с. – ISBN 5-89176-342-7
169. Ладонин, Д.В. Влияние техногенного загрязнения на фракционный состав меди и цинка в почвах / Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 1995. – № 10. – С. 1299-1305.
170. Ладонин, Д.В. Взаимодействие гуминовых кислот с тяжёлыми металлами / Д.В. Ладонин, С.Е. Марголина // Почвоведение. – 1997. – № 7. – С. 806-811.
171. Ладонин, Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения / Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 2002. – № 6. – С. 682-692.
172. Лазаренко, А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны : (На примере Днепра, Десны и Оки) / А.А. Лазаренко. – Москва : Наука, 1964. – 236 с.
173. Лаптева, А.К. Фоновый мониторинг тяжёлых металлов в естественных экосистемах Пермской области / А.К. Лаптева, М.А. Шишкин // Проблемы загрязнения окружающей среды: Материалы VI Международной конференции, 20-25 сентября 2005. Пермь-Казань-Пермь. – Пермь : Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, 2005. – С. 69.
174. Латушкина, Е.Н. Минералогический генезис микроэлементов современных донных осадков рек урбанизированных территорий, испытывающих высокую техногенную нагрузку (на примере Москвы-реки и малых рек Московской области) / Е.Н. Латушкина, А.А. Рассказов // Вестник Бурятского государственного университета. – 2013. – № 4. – С. 16-24.
175. Левшаков, Л.В. Нормирование содержания тяжёлых металлов в почве / Л.В. Левшаков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – Т. 3. – № 3. – С. 51-53.
176. Легин, Е.К. Ремобилизация радионуклидов в почвах по механизму восстановительной биосолюбилизации органоминеральных плёнок / Е.К. Легин, Д.Н. Суглобов, М.Л. Хохлов // Российский химический журнал. – 2005. – Т. 49. – № 2. – С. 127-130.

177. Влияние биогенного восстановления железа в почвах на миграционное поведение радионуклидов и тяжёлых металлов / Е.К. Легин, Ю.И. Трифонов, М.Л. Хохлов [и др.] // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина. – 2007. – Т. 12. – С. 148-168.
178. Роль донных отложений в формировании качества воды рек Западного Урала / А.П. Лепихин, Н.Г. Максимович, Е.Л. Садохина [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. – 1999. – Вып. 3. – С. 299-309.
179. Оценка роли и разработка методов прогнозирования влияния техногенных донных отложений на формирование качества воды поверхностных водных объектов / А.П. Лепихин, С.А. Мирошниченко, Н.В. Вагнер, О.И. Панькова // Региональный конкурс РФФИ–Урал, Результаты научных исследований, полученные за 2002 г., Аннотационные отчёты. – Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2003. – С. 272-276.
180. Лунев, Б.С. Дифференциация осадков в современном аллювии / Б.С. Лунев. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1967. – 333 с.
181. Мажайский, Ю.А. Особенности распределения тяжёлых металлов в профилях почв Рязанской области / Ю.А. Мажайский // Агрехимия. – 2003. – № 8. – С. 74-79.
182. Агрэкология техногенно загрязнённых ландшафтов / Ю.А. Мажайский, С.А. Тобратов, Н.Н. Дубенок, Ю.П. Пожогин. – Смоленск: Изд-во Манжента, 2003. – 384 с. – ISBN 5981560053
183. Македонов, А.В. Современные конкреции в осадках и почвах и закономерности их географического распространения / А.В. Македонов. – М.: Наука, 1966. – 284 с.
184. Вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в аллювиальных почвах р. Локна (Тульская область) в отдалённый период после аварии на ЧАЭС и его моделирование / С.В. Мамихин, В.Н. Голосов, Т.А. Парамонова [и др.] // Почвоведение. – 2016. – № 12. – С. 1521-1533.
185. Манджиева, С.С. Экологическое состояние почв и растений природно-техногенной сферы: монография / С.С. Манджиева, Т.М. Минкина. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – 264 с. – ISBN 978-5-9275-1340-6.
186. Мартынов, А.В. Оценка влияния крупного паводка на содержание микроэлементов в аллювиальных почвах в среднем течении р. Амур / А.В. Мартынов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 2018. – Вып. 91. – С. 110-131.
187. Мартынов, А.В. Содержание подвижных форм микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур и влияние на них паводка 2013 года / А.В. Мартынов // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 32-39.
188. Мартынова, М.В. Формы нахождения соединений железа в пресноводных отложениях (аналитический обзор) / М.В. Мартынова // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 4. – С. 452-460.
189. Меньшикова, Е.А. Техногенные сферулы современных аллювиальных отложений рек Урала / Е.А. Меньшикова, Б.М. Осовецкий // Минералогия техногенеза. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. – С. 166-168.
190. Меньшикова, Е.А. Речные осадки в условиях техногенного воздействия / Е.А. Меньшикова // Современные наукоёмкие технологии. – 2010. – № 7. – С. 183-185.
191. Меньшикова, Е.А. Магнитные сферулы природно-техногенных осадков / Е.А. Меньшикова, Б.М. Осовецкий // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18203>

(дата обращения: 25.12.2020).

192. Меньшикова, Е.А. Трансформация аллювиальных отложений малых рек в условиях сброса сточных вод / Е.А. Меньшикова // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2016. – № 16. – С. 66-69.

193. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязнённых земель. Методические рекомендации Госкомзема России, Минприроды России, Минсельхоза России от 15.02.1995. – М., 1995. – 50 с.

194. Минкина, Т.М. Методические аспекты почвенно-экологического мониторинга / Т.М. Минкина, И.А. Нагабедьян, В.Д. Новогренко // Плодородие. – 2002. – № 5 (8). – С. 33-35.

195. Минкина, Т.М. Состав соединений тяжелых металлов в почвах / Т.М. Минкина, Г.В. Мотузова, О.Г. Назаренко. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2009. – 208 с. – ISBN: 978-5-903867-03-5

196. Особенности содержания и подвижность тяжёлых металлов в почвах поймы реки Дон / Т.М. Минкина, Ю.А. Федоров, Д.Г. Невидомская [и др.] // Аридные экосистемы. – 2016. – Т. 22. – № 1 (66). – С. 86-98.

197. Михайлова, Н.А. Оптические свойства почв и почвенных компонентов / Н.А. Михайлова, Д.С. Орлов; Отв. ред. Б.Г. Розанов. – М.: Наука, 1986. – 118 с.

198. Молоствовский, Э.А. Петромагнитная индикация техногенного загрязнения урбанизированных территорий / Э.А. Молоствовский, О.В. Абакшин, В.Н. Ерёмин // Проблемы геоэкологии Саратова и области. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1996. – Вып. 1. – С. 25-32.

199. Моргун, Е.Г. Окислительно-восстановительные и кислотнo-щелочные условия почвообразования в степных ландшафтах / Е.Г. Моргун, Е.А. Рыскова, И.В. Ковда // Почвоведение. – 2003. – № 8. – С. 934-947.

200. Мотузова, Г.В. Зависимость подвижности Zn от химических свойств почв / Г.В. Мотузова, А.А. Попова // Агрохимия. – 1988. – № 8. – С. 81-88.

201. Мотузова, Г.В. Действие растворов 0,1 н серной кислоты, Тамма, Мера-Джексона на соединения железа в дерново-аллювиальной почве / Г.В. Мотузова, А.К. Дегтярёва, В.В. Морозов // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 1991. – № 1. – С. 67-72.

202. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г.В. Мотузова. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.

203. Мотузова, Г.В. Загрязнение почв и сопредельных сред / Г.В. Мотузова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 71 с. – ISBN: 5-211-03944-0

204. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г.В. Мотузова. – Изд. 2-е. – Москва : URSS : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 166 с. – ISBN 978-5-397-00140-3

205. МУ 2.1.7.730-99 Методические указания, по гигиенической оценке, качества почвы населённых мест. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г. Минздрав России. – М., 1999. – 23 с.

206. Назаров, Н.Н. География. Пермская область : Учебное пособие / Н.Н. Назаров, М.Д. Шарыгин. – Пермь. Изд-во «Книжный мир», 1999. – 245 с. – ISBN 5-88187-057-3

207. Назаров, Н.Н. Геохимические горизонты и микроэлементный состав

донных отложений Воткинского водохранилища / Н.Н. Назаров, А.В. Сунцов // Географический вестник. – 2008. – № 2. – С. 26-36.

208. Минералы железа в комплексных окисленных рудах / Э.П. Николаева, И.С. Спирина, В.В. Коровушкин [и др.] // Записки Всероссийского минералогического общества. – 1986. – Вып. 4. – С. 478-489.

209. Николаева, С.А. Окислительно-восстановительное состояние периодически переувлажняемых чернозёмных почв / С.А. Николаева, А.М. Ерёмкина // Почвоведение. – 2005. – № 3. – С. 328-336.

210. Обуховская, Т.Д. Цинк, кадмий, ртуть, свинец в системе почва-растение / Т.Д. Обуховская, Е.В. Каплунова, А.В. Сердюкова // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1983. – Вып. 35. – С. 27-30.

211. Овчаренко, М.М. Почвенное плодородие и содержание тяжелых металлов в растениях / М.М. Овчаренко, Г.А. Графская, И.А. Шильников // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 5. – С. 34-39.

212. Тяжёлые металлы в системе почва-растение-удобрение / Под общ. ред. М.М. Овчаренко. – М. : Пролетарский светоч, 1997. – 290 с. – ISBN 5-88934-016-6

213. Полиэлементная токсикация почв: монография / А.А. Околелова, В.Ф. Желтобрюхов, В.Н. Стяжин, В.П. Кожевникова. – Волгоград: ВолгГТУ, 2015. – 148 с. – ISBN 978-5-9948-1940-1

214. Оллиер, К. Выветривание / К. Оллиер; Пер. с англ. С.С. Чекина, В.С. Знаменского; Под ред. В.П. Петрова. – М. : Недра, 1987. – 348 с.

215. Опекунов, А.Ю. Особенности техногенного осадконакопления в водотоках центральной части Санкт-Петербурга / А.Ю. Опекунов, Е.С. Митрофанова, Н.А. Шейнерман // Биосфера. – 2014. – Т. 6. – № 3. – С. 250-256.

216. Анализ накопленного экологического ущерба в речных системах на территории Сибайского медноколчеданного месторождения / А.Ю. Опекунов, М.Г. Опекунова, С.Ю. Кукушкин [и др.] // Сергеевские чтения : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Под ред. В.И. Осипова, Н.Г. Максимовича, А.А. Баряха, [и др.]. Выпуск 21. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах. – Пермь: Пермский ГНИУ, 2019. – С. 349-354.

217. Орлов, Д.С. Окислительно-восстановительный режим некоторых почв дерново-подзолистой зоны / Д.С. Орлов // Агрохимия. – 1974. – № 3. – С. 63-72.

218. Орлов, Д.С. Химия почв : [Учеб. для вузов по спец. "Агрохимия и почвоведение"] / Д.С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.

219. Осовецкий, Б.М. Природно-техногенные осадки / Б.М. Осовецкий, Е.А. Меньшикова. – Пермь: Пермский ун-т, 2006. – 208 с. – ISBN 5-7944-0668-2

220. Панин, М.С. Эколого-геохимическая характеристика почв г. Павлодар Республики Казахстан / М.С. Панин // Вестник ТГУ. – 2006. – № 292. – С. 171-177.

221. Структура почвенного покрова и основные свойства почв природного парка Воробьёвы горы / Т.А. Парамонова, Э.В. Тишкина, С.Ф. Краснов, Д.О. Толстихин // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 24-34.

222. Паспорт санитарно-технического состояния реки Егошиха. – Пермь: Пермгипроводхоз, 1988. – 34 с.

223. Паспорт санитарно-технического состояния реки Ива. – Пермь: Пермгипроводхоз, 1989. – 34 с.

224. Паспорт санитарно-технического состояния реки Данилиха. – Пермь:

- Пермгипроводхоз, 1989. – 34 с.
225. Паспорт санитарно-технического состояния реки Верхняя Мулянка. – Пермь: Пермгипроводхоз, 1989. – 34 с.
226. Паспорт санитарно-технического состояния реки Ласьва. – Пермь: Пермгипроводхоз, 1989. – 34 с.
227. Паутов, А.И. Происхождение, свойства и возможности сельскохозяйственного использования аллювиальных почв поймы реки Яйвы / А.И. Паутов // Рациональное использование и охрана почв Нечерноземья. : межвузовский сборник научных трудов / Пермский сельскохозяйственный институт ; ред. Ю. В. Щербаков [и др.]. – Пермь : [б. и.], 1987. – С. 17-25.
228. Паутов, А.И. Происхождение и свойства аллювиальных почв поймы реки Сивы / А.И. Паутов, С.С. Фролова // Плодородие и мелиорация почв Нечерноземья : межвузовский сборник научных трудов / Пермский сельскохозяйственный институт. – Пермь: [б. и.], 1991. С. 4-17.
229. Перельман, А.И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза) / А.И. Перельман. 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1968. – 332 с.
230. Перельман, А.И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза) / А.И. Перельман. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1965. – 272 с.
231. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта : [Учеб. пособие для студентов географ. и геол. специальностей ун-тов] / А.И. Перельман. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1975. – 342 с.
232. Перельман, А.И. Биокосные системы Земли / А.И. Перельман; АН СССР. – Москва : Наука, 1977. – 160 с.
233. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта : [Учеб. пособие для студентов геогр. и экол. специальностей вузов] / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – 3. изд., перераб. и доп. – М. : Астрей-2000, 1999. – 762 с. – ISBN 5-7594-0077-0
234. Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве № 6229-91. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91). Гигиенические нормативы. – М.: Информ. издат. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1995. – 8 с.
235. Пермский край [Электронный ресурс]: энциклопедия: [сайт] / Перм. краевая б-ка им. М. Горького, «Альт-Софт» - Информ. и коммуникац. технологии. - [Пермь], 2008. Ласьва, река, правобережный приток Воткинского водохранилища. URL: <http://enc.permculture.ru/showObject.do?object=1803767331> (дата обращения: 07.01.2021).
236. Пинский, Д.Л. Ионнообменные процессы в почвах / Д.Л. Пинский ; Рос. акад. наук, Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – Пушкино : Пушин. науч. центр РАН, 1997. – 166 с. – ISBN 5-201-14336-9.
237. Плеханова, И.О. Влияние осадков сточных вод на содержание и фракционный состав тяжелых металлов в супесчаных дерново-подзолистых почвах / И.О. Плеханова, О.В. Кленова, Ю.Д. Кутукова // Почвоведение. – 2001. – № 4. – С. 496-503.
238. Плеханова, И.О. Трансформация соединений тяжёлых металлов при увлажнении: специальность 03.00.27 «Почвоведение» : автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора биологических наук / Плеханова Ирина Овакимовна ; [Место защиты: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова]. – Москва, 2008. – 51 с.
239. Плеханова, И.О. Экстракционные методы изучения состояния тяжелых металлов в почвах и их сравнительная оценка / И.О. Плеханова, В.А. Бамбушева // Почвоведение. – 2010. – № 9. – С. 1081-1088.
240. Пляскина, О.В. Соединения тяжёлых металлов в гранулометрических

фракциях некоторых типов почв / О.В. Пляскина, Д.В. Ладонин // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 2005. – № 4. – С. 36-43.

241. Погода и климат. Справочно-информационный портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28224&month=5&year=2006> (дата обращения: 30.03.2020).

242. Полевой определитель почв России. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 183 с. – ISBN 978-5-85941-255-6

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

244. Понизовский, А.А. Закономерности поглощения свинца (II) почвами при pH от 4 до 6 / А.А. Понизовский, Е.В. Мироненко, Л.П. Кондакова // Почвоведение. – 2001. – № 7. – С. 817-822.

245. Проведение предпроектных и проектных работ по благоустройству малой реки Данилиха и её водоохранной зоны, рабочий проект, Книга 1. Экологические изыскания. – Пермь: Пермгипроводхоз, 1998. – 38 с.

246. Морфологическая диагностика почвообразования в антропогенно изменённых поймах рек на территории Москвы / Т.В. Прокофьева, О.А. Варава, С.Н. Седов, А.М. Кузнецова // Почвоведение. – 2010. – №4. – С. 399-411.

247. Прокофьева, Т.В. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию / Т.В. Прокофьева, И.А. Мартыненко, Ф.А. Иванников // Почвоведение. – 2011. – №5. – С. 611-623.

248. Прокофьева, Т.В. Долина Москвы-реки и почвы столицы / Т.В. Прокофьева, О.А. Варава // Природа. – 2013. – № 6. – С. 33-43.

249. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России / Т.В. Прокофьева, М.И. Герасимова, О.С. Безуглова [и др.]. // Почвоведение. – 2014. – № 10. – С. 1155-1164.

250. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии ред. элементов; [Сост. Б. А. Ревич и др.]. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 112 с.

251. Саакян, В.Г. Оценка кислотности почв Нечерноземья по данным полевых и лабораторных измерений / В.Г. Саакян, Е.И. Горшкова // Почвоведение. – 1986. – № 9. – С. 35-43.

252. Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния и оглеения почв / В.И. Савич, И.С. Кауричев, Л.Л. Шишов [и др.]. // Почвоведение. – 2004. – № 6. – С. 702-712.

253. Мелиоративная и агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв : учебное пособие / В.И. Савич [и др.]. – Москва : изд-во Российского ун-та дружбы народов, 2006. – 482 с. – ISBN 5-209-01838-5

254. Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния и оглеения почв : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 11.01.01 - агрохимия и агропочвоведение, экология / В.И. Савич [и др.]. ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Российский гос. аграрный ун-т - МСХА им. К. А. Тимирязева. – Москва : ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2008. – 270 с. – ISBN 978-5-9675-0208-8

255. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с. – ISBN 5-247-01127-9

256. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». IV Почва населённых мест и сельскохозяйственных угодий. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. Доступ из

справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

257. Сарапулова, Г.И. Гидрогеохимическая оценка сопредельной среды «почва-вода» в условиях урбанизации / Г.И. Сарапулова, А. Мунхуу // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №7. – С. 79-81.

258. Сарапулова, Г.И., Мунхуу А. Трансформация геосистем в условиях урбанизации. II. Экогеохимические исследования сопряжённой системы «почва-вода» / Г.И. Сарапулова, А. Мунхуу // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (72). – С. 41-47.

259. Сарапулова, Г.И. Эколого-геохимическая оценка почв в зоне техногенных объектов / Г.И. Сарапулова // Записки Горного института. – 2018. – Т. 234. – С. 658-662.

260. Магнетоминералогические особенности магнетита из различных осадочных пород и отложений / Н.А. Седьмов, В.Ф. Бабанин, В.В. Морозов [и др.]. // Вестник МГУ. Серия 3. Физика и астрономия. – 2004. – № 1. – С. 59-65.

261. Динамика разрушения магнитных сферических частиц различной природы в условиях избыточного увлажнения / Н.А. Седьмов, В.Ф. Бабанин, В.И. Трухин [и др.]. // Доклады по экологическому почвоведению. – 2006. – № 3. – Вып. 3. – С. 115-129.

262. Сердобольский, И.П. Методы определения рН и окислительно-восстановительного потенциала при агрохимических исследованиях / И.П. Сердобольский. // Агрохимические методы исследования почв. – М.: АН СССР, 1960. – С. 224-242.

263. Середина, В.П. Особенности поведения подвижных форм тяжёлых металлов в почвах Кузбасса / В.П. Середина, А.Н. Шайхутдинова, С.В. Овсянникова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 236-239.

264. Сидоренко, М.В. Оценка загрязнения тяжёлыми металлами почв и снегового покрова водоохраных зон озёр и малых рек Нижнего Новгорода / М.В. Сидоренко, В.П. Юнина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. – № 5-1. – С. 110-114.

265. Сиромля, Т.И. К вопросу о подвижных формах соединений химических элементов в почвах / Т.И. Сиромля // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 307-318.

266. Формирование сероводородных зон на малых реках – приёмниках сточных вод горнорудных предприятий (на примере малых рек Республики Башкортостан) / Т.П. Смирнова, Г.Ф. Шайдулина, В.И. Сафарова, А.Н. Кутлиахметов // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 11. – С. 28-32.

267. Выявление геохимических ассоциаций элементов как метод исследования техногенных аномалий / Е.П. Сорокина, Е.Б. Агальцова, О.Г. Григорьева, Ю.Е. Сагет // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах : Труды II Всесоюзного совещания, Обнинск, 27-29 ноября 1978 г. / Под редакцией канд. техн. наук Ц.И. Бобовниковой, канд. физ.-мат. наук С.Г. Малахова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – С. 91-99.

268. Сорокина, О.А. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) / О.А. Сорокина, Н.В. Зарубина // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 681-690.

269. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2003 г. Справочно-информационные материалы / Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми. – Пермь, 2004. – 46 с.

270. Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 2003

г. // Управление по охране окружающей среды Пермской области. ОГУ «Аналитический центр» – Пермь, 2004. – 190 с.

271. Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2004 г. [Электронный ресурс] / Управление по охране окружающей среды Администрации Пермской области. Пермь. 2005. Режим доступа: URL: <http://www.permecology.ru> (дата обращения: 30.03.2018).

272. Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 2005 г. / Управление по охране окружающей среды Пермской области. – Пермь, 2006. – 229 с.

273. Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2006 г. [Электронный ресурс] / Управление по охране окружающей среды Администрации Пермского края. Пермь. 2007. Режим доступа: URL: <http://www.permecology.ru/report/report2006/4.html> (дата обращения: 30.03.2018).

274. Состояние и охрана окружающей среды города Перми. 2017. [Электронный ресурс] Официальный сайт муниципального образования город Пермь. Режим доступа: URL: <http://www.gorodperm.ru> (дата обращения: 11.12.2019).

275. Станченко, Л.Ю. Распределение тяжелых металлов в почвах и растительности городских экосистем Калининградской области / Л.Ю. Станченко // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2009. – Вып. 1. – С. 81-85.

276. Строганова, М.Н. Роль почв в городских экосистемах / М.Н. Строганова // Почвоведение. – 1997. – № 1. – С. 96-101.

277. Суздаев, И.П. О суперпарамагнетизме ультрамалых частиц антиферромагнетиков / И.П. Суздаев // Физика твёрдого тела. – 1970. – Том 12. – № 4. – С. 988-990.

278. Суюндуков, Я.Т. Влияние воды реки Таналык на содержание тяжёлых металлов в почве и растениях / Я.Т. Суюндуков, З.Б. Бактыбаева, Л.М. Саптарова Л.М. // Аграрная наука. – 2010. – № 9. – С. 11-12.

279. Сысо, А.И. Актуальные вопросы гигиенической и биогеохимической оценки качества почв и растительной продукции / А.И. Сысо // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы II международной школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти профессора В.Б. Ильина. (Тюмень, 16-20 мая 2016 г.) / под редакцией В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина ; Тюменский государственный университет, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. – Тюмень : Издательство Тюменского государственного университета, 2016. – С. 132-142.

280. Сысо, А.И. Химические элементы и их соединения в почвах и растениях нативных и антропогенных экосистем Сибири / А.И. Сысо, Т.И. Сиромля // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы III международной школы-семинара для молодых исследователей. (Тюмень, 23-28 апреля 2018 г.) / под редакцией В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина ; Тюменский государственный университет, – Тюмень : Издательство Тюменского государственного университета, 2018. – С.137-150.

281. Оглеение и морфотипы глея / В.О. Таргульян, М.И. Герасимова, Л.К. Целищева, С.А. Шоба // Почвоведение. – 1987. – № 7. – С. 16-24.

282. Титова, В.И. Некоторые подходы к экологической оценке загрязнения земельных угодий / В.И. Титова, М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова // Почвоведение. – 2004. – № 10. – С. 1264-1267.

283. Торопов, Л.И. Анализ загрязнения окружающей природной среды Пермского края / Л.И. Торопов // Вестник пермского университета. Серия: Химия. – 2011. – №1. – С. 100-108.
284. Трифонова, Т.А. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях / Т.А. Трифонова // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1054-1061.
285. Тюрина, И.М. Соединения серы в подземных водах города Перми / И.М. Тюрина, В.В. Галкина // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2011. – № 14. – С. 150-152.
286. Учватов, В.П. Геохимические потоки и геохимический баланс тяжелых металлов как показатель устойчивости ландшафта к антропогенным нагрузкам / В.П. Учватов // Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды. – М. : Т-во научных изданий КМК, 2004. – С. 179-199.
287. Франк, Ю.А. Биотехнологический потенциал сульфатвосстанавливающих бактерий / Ю.А. Франк, С.В. Лушников // Экология и промышленность России. – 2006. – № 1. – С. 10-13.
288. Перераспределение и миграция серосодержащих соединений в воде и донных отложениях малых рек / А.А. Фаухутдинов, В.И. Сафарова, Т.П. Смирнова [и др.]. // Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15. – № 1. – С. 76-81.
289. Хайрулина, Е.А., Максимович Н.Г. Развитие сероводородной обстановки в таежных ландшафтах верхнего Прикамья в условиях техногенного галогенеза / Е.А. Хайрулина, Н.Г. Максимович // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых : материалы международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика К.И. Лукашева, (Минск, 23-25 мая 2017 г.). – Минск : Право и экономика, 2017. – Ч. 2. – С. 132-134.
290. Хайрулина, Е.А. Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийномагниевого солей / Е.А. Хайрулина // Теоретическая и прикладная экология. – 2014. – № 3. – С. 41-45.
291. Хайрулина, Е.А. Потенциально токсичные элементы в почвах Индустриального района г. Перми / Е.А. Хайрулина, И.В. Тимофеев, Н.Е. Кошелева // Географический вестник. – 2019. – № 2 (49). – С. 80-100.
292. Химическое загрязнение почв и их охрана : Словарь-справочник. Под ред. Д.С. Орлова, М.С. Малинина, Г.В. Мотузовой. – М. : Агропромиздат, 1991. – 303 с. – ISBN 5-10-002334-1
293. Чернова, О.В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы) / О.В. Чернова, О.В. Бекецкая // Почвоведение. – 2011. – № 9. – С. 1102-1113.
294. Чертко, Н.К. Геохимия и экология химических элементов : справочное пособие / Н.К. Чертко, Э.Н. Чертко. – Минск : Издательский центр БГУ, 2008. – 138 с. – ISBN 978-985-476-578-5
295. Черных, Н.А. Нормирование загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, В.Ф. Ладонин // Агрохимия. – 1995. – № 6. – С.71-80.
296. Черных, Н.А. Вопросы нормирования содержания тяжелых металлов в почве / Н.А. Черных, В.Ф. Ладонин // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 10-13.
297. Черных, Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – М. : Агроконсалт, 1999. – 176 с.
298. Чеснокова, С.М. Оценка устойчивости почв урбанизированных территорий, загрязненных тяжелыми металлами / С.М. Чеснокова, Е.Ю. Алтухова //

Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1 (15). – С. 1245-1248.

299. Чибирова, Ф.Х. Особенности перестройки дефектной структуры магнетита в вихревом магнитном поле по данным мессбауэровской спектроскопии / Ф.Х. Чибирова // Журнал физической химии. – 2008. – Т. 82. – № 11. – С. 2187-2189.

300. Ферроксигит – новая модификация  $\delta$ -FeOОН / Ф.В. Чухров, Б.Б. Звягин, А.И. Горшков [и др.]. // Изв. АН СССР. Серия Геология. – 1976. – № 5. – С. 5-24.

301. К геохимии и минералогии марганца и железа в молодых продуктах гипергенеза / Ф.В. Чухров, А.И. Горшков, А.Н. Тюрюканов [и др.]. // Изв. АН СССР. Серия Геология. – 1980. – № 7. – С. 5-24.

302. Минералогия и состав отложений реки Амур в зоне влияния реки Сунгари / М.В. Шалдыбин, Г.В. Харитонов, В.И. Ким [и др.]. // Тихоокеанская геология. – 2016. – Т. 35. – № 1. – С. 92-108.

303. Шахин, С.М. Формы токсичных элементов в пойменных почвах Египта, Германии и Греции: сравнительное исследование / С.М. Шахин, Й. Ринклубе, Х.Д. Цадила / Почвоведение. – 2015. – № 12. – С. 1450-1461.

304. Оценка техногенной трансформации почвенного покрова с применением анализа магнитной восприимчивости почв / Л.А. Ширкин, Т.А. Трифонова, В.А. Кошман, А.Н. Краснощёков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 5 (3). – С. 866-871.

305. Шишкин, М.А. Эколого-геохимический анализ современных ландшафтов Прикамья / М.А. Шишкин, А.К. Лаптева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 285 с. – ISBN 5-7691-1933-0.

306. Элементарные почвообразовательные процессы : Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика / Н.А. Караваева, В.О. Таргульян, А.Е. Черкинский [и др.]. ; Отв. ред. Н.А. Караваева, С.В. Зонн; Рос. акад. наук, Ин-т географии. – М. : Наука, 1992. – 183 с. – ISBN 5-02-003846-6 .

307. Экогеохимия городских ландшафтов / Н.С. Касимов, А.И. Перельман, А.В. Евсеев [и др.]. ; Под ред. Н.С. Касимова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 336 с. – ISBN 5-211-03384-1.

308. Язиков, Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв : монография / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.

309. 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.

310. Янин, Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава) / Е.П. Янин ; М-во природ. ресурсов Рос. Федерации, Рос. акад. наук. Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии ред. элементов. – М. : ИМГРЭ, 2002. – 139 с.

311. Янин, Е.П. Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности) / Е.П. Янин ; М-во природ. ресурсов Рос. Федерации, Рос. акад. наук. Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии ред. элементов. – М. : ИМГРЭ, 2002. – 100 с.

312. Янин, Е.П. Химический состав и минералогические особенности техногенных илов реки Нуры / Е.П. Янин. – М. : ИМГРЭ, 2004. – 22 с.

313. Янин, Е.П. Источники и пути поступления тяжёлых металлов в реки агроландшафтов / Е.П. Янин. – М. : ИМГРЭ, 2004. – 39 с.
314. Янин, Е.П. Общие условия и основные факторы формирования водного стока в городских ландшафтах / Е.П. Янин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2006. – № 9. – С. 73-111.
315. Янин, Е.П. Техногенные частицы и их роль в формировании вещественного состава современных речных отложений / Е.П. Янин, Г.Г. Ахтямова // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2007. – № 1. – С. 30-43.
316. Янин, Е.П. Особенности гранулометрического состава русловых отложений малой реки в зоне влияния промышленного города / Е.П. Янин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2009. – № 3. – С. 69-74.
317. Янин, Е.Г. Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка) / Е.П. Янин // Экологическая экспертиза. – 2013. – № 1. – С. 2-196.
318. Янин, Е.П. Геохимические последствия хозяйственной деятельности человека / Е.П. Янин // Экологическая экспертиза. – 2017. – № 3. – С. 2-43.
319. Янин, Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности) / Е.П. Янин. – М. : НП «АРСО», 2018. – 415 с. – ISBN 978-5-906731-53-1.
320. Яхонтова, Л.К. Основы минералогии гипергенеза : Учеб. пособие. / Л.К. Яхонтова, В.П. Зверева. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 336 с. – ISBN 5-7442-1235-3.
321. Ajmone-Marsan, F. Metal release under anaerobic conditions of urban soils of four European cities / F. Ajmone-Marsan, E. Padoan, F. Madrid, B. Vrščaj, M. Biasioli, C.M. Davidson // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2019. – Vol. 230, № 3. – P. 53-65.
322. Bábek, O. Contamination history of suspended river sediments accumulated in oxbow lakes over the last 25 years / O. Bábek, K. Hilscherová, S. Nehyba, J. Zeman, M. Faměra, J. Franců, I. Holoubek, J. Machát, J. Klánová // *Journal of Soils and Sediments*. – 2008. – Vol. 8. – P. 165-176.
323. Barron, V. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color / V. Barron, J. Torrent // *European Journal of Soil Science*. – 1986. – Vol. 37, № 4. – P. 499-510.
324. Bartlett, R.J. Redox chemistry of soils / R.J. Bartlett, B.R. James // *Advances in Agronomy*. – 1993. – Vol. 50. – P. 151-208.
325. Bednarova, Z. Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils / Z. Bednarova, K. Komprdova, T. Kalabova, M. Sanka // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2015. – Vol. 226, № 15. – P. 1-21.
326. Borch, T. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics / T. Borch, R. Kretzschmar, A. Kappler, P. Van Cappellen, M. Ginder-Vogel, A. Voegelin, K. Campbell // *Environmental Science & Technology*. – 2010. – Vol. 44, № 1. – P. 15-23.
327. Bowell, R.J. Sorption of arsenic by iron oxides and oxyhydroxides in soils / R.J. Bowell // *Applied Geochemistry*. – 1994. – Vol. 9, № 3. – P. 279-286.
328. Brown, G.E. Mineral surface and bioavailability of heavy metals: A molecular-scale perspective / G.E. Brown, A.L. Foster, J.D. Ostergren // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 1999. – Vol. 96, № 7. – P. 3388-3395.
329. Chudaničová, M. Magnetic signature of overbank sediment in industry impacted floodplains identified by data mining Methods / M. Chudaničová, S.M. Hutchinson // *Geophysical Journal International*. – 2016. – Vol. 207, № 2. – P. 1106-1121.

330. Ciszewski, D. Rapid migration of heavy metals and Cs<sup>137</sup> in alluvial sediments, Upper Odra River valley, Poland / D. Ciszewski, A. Czajka, S. Blazej // *Environmental Geology*. – 2008. – Vol. 55. – P. 1577-1586.
331. Ciszewski, D. A Review of Flood-Related Storage and Remobilization of Heavy Metal Pollutants in River Systems / D. Ciszewski, T.M. Grygar // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2016. – Vol. 277, № 7. – P. 239.
332. Dearing, J. Environmental magnetic susceptibility Using the Bartington MS2 System / J. Dearing, (Second Edition). Chi Publishing. England, 1999. – 54 p. – ISBN 0952340909.
333. Desenfant, F. Magnetic signature of industrial pollution of stream sediments and correlation with heavy metals: case study from South France / F. Desenfant, E. Petrovský, P. Rochette // *Water Air and Soil Pollution*. – 2004. – Vol. 152. – P. 297-312.
334. Devai, I. Methyl mercury and heavy metal content in soils of rivers Saale and Elbe (Germany) / I. Devai, Jr. W.H. Patrick, H.-U. Neue, R.D. DeLaune, M. Kongchum, J. Rinklebe // *Analytical Letters*. – 2005. – Vol. 38. – P. 1037-1048.
335. Dixit, S. Comparison of arsenic (V) and arsenic (III) sorption onto iron oxide minerals: implications for arsenic mobility / S. Dixit, J.G. Hering // *Environmental Science & Technology*. – 2003. – Vol. 37, № 18. – P. 4182-4189.
336. Dlouhá, Š. Investigation of polluted alluvial soils by magnetic susceptibility methods: a case study of the Litavka River / Š. Dlouhá, E. Petrovský, A. Kapička, L. Borůvka, Ch. Ash, O. Drábek // *Soil & Water Res*. – 2013. – Vol. 8, № 4. – P. 151-157.
337. Du Laing, G. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review / G. Du Laing, J. Rinklebe, B. Vandecasteele, E. Meers, F.M.G. Tack // *the Science of the Total Environment*. – 2009. – Vol. 407, № 13. – P. 3972-3985.
338. El Baghdadi, M. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in urban soil of Beni Mellal City (Morocco) / M. El Baghdadi, A. Barakat, M. Sajieddine, S. Nadem // *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – Vol. 66. – P. 141-155.
339. Faměra, M. Geochemical normalization of magnetic susceptibility for investigation of floodplain sediments / M. Faměra, T. Matys Grygar, J. Elznicová, H. Grison // *Environmental Earth Sciences*. – 2018. – Vol. 77, № 5. – P. 189.
340. Fendorf, S.E. Kinetics of chromate reduction by ferrous ions / S.E. Fendorf, G. Li // *Environmental Science and Technology*. – 1996. – Vol. 30, № 5. – P. 1614-1617.
341. Fitzpatrick, R.W. Al-substituted goethite – an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa / R.W. Fitzpatrick, U. Schwertmann // *Geoderma*. – 1982. – Vol. 27, № 4. – P. 335-347.
342. Frančičković-Bilinski, S. Magnetic, geochemical and mineralogical properties of sediments from karstic and flysch rivers of Croatia and Slovenia / S. Frančičković-Bilinski, R. Scholger, H. Bilinski, D. Tibljaš // *Environmental Earth Sciences*. – 2014. – Vol. 72, № 10. – P. 3939-3953.
343. Frohnea, T. Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on metal mobilization and biomethylation of arsenic and antimony / T. Frohnea, J. Rinklebe, R.A. Diaz-Boneb, G. Du Laing // *Geoderma*. – 2011. – Vol. 160, № 3-4. – P. 414-424.
344. Goldberg, S. Mechanisms of arsenic adsorption on amorphous oxides evaluated using macroscopic measurements, vibrational spectroscopy, and surface complexation modeling / S. Goldberg, C.T. Johnston // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2001. – Vol. 234, № 1. – P. 204-216.

345. Grafe, M. Adsorption of arsenate (V) and arsenite (III) on goethite in the presence and absence of dissolved organic carbon / M. Grafe, M.J. Eick, P.R. Grossl // *Soil Science Society of America Journal*. – 2001. – Vol. 65. – P. 1680-1687.
346. Hansel, C.M. Structural and compositional evolution of Cr/Fe solids after indirect chromate reduction by dissimilatory iron-reducing bacteria / C.M. Hansel, B.W. Wielinga, S. Fendorf // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2003. – Vol. 67, № 3. – P. 401-412.
347. Hounslow, M.W. Quantitative extraction and analysis of carriers of magnetization in sediments / M.W. Hounslow, B.A. Maher // *Geophysical Journal International*. – 1996. – Vol. 124, № 1. – P. 57-74.
348. Husein, H.M., Kalkha M., Al Jrđi A., Bäumler R. Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Hama Floodplain, Syria / H.M. Husein, M. Kalkha, A. Al Jrđi, R. Bäumler // *Natural Resources*. – 2019. – Vol. 10. – P. 187-201.
349. Ibragimow, A. Heavy metals in fluvial sediments of the Odra River flood plains - introductory research / A. Ibragimow, G. Głosińska, M. Siepak, B. Walna // *Quaestiones Geographicae*. – 2010. – Vol. 29, № 1. – P. 37-47.
350. Izquierdo, M. Lability, solubility and speciation of Cd, Pb and Zn in alluvial soils of the River Trent catchment UK / M. Izquierdo, A.M. Tye, S.R. Chenery // *Environmental science. Processes & impacts*. – 2013. – Vol. 15, № 10. – P. 1844-1858.
351. Jiang, M. Assessment of Heavy Metal Contamination in the Surrounding Soils and Surface Sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District / M. Jiang, G. Zeng, C. Zhang, X. Ma, M. Chen, J. Zhang, L. Lu, Q. Yu, L. Hu, L. Liu // *PLoS ONE*. – 2013. – Vol. 8, № 8. – e71176.
352. Jordanova, D. Environmental significance of magnetic properties of Gley soils near Rosslau (Germany) / D. Jordanova, N. Jordanova, U. Werban // *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – Vol. 69, № 5. – P. 1719-1732.
353. Kobierski, M. Evaluation of the content of heavy metals in fluvisols of floodplain area depending on the type of land use / M. Kobierski // *Journal of Ecological Engineering*. – 2015. – Vol. 16, № 1. – P. 23-31.
354. Koretsky, C.M. Spatial variation of redox and trace metal geochemistry in a minerotrophic fen / C.M. Koretsky, M. Haveman, L. Beuving, A. Cuellar, T. Shattuck, M. Wagner // *Biogeochemistry*. – 2007. – № 86. – P. 33-62.
355. Kotková, K. Migration of risk elements within the floodplain of the Litavka River, the Czech Republic/ K. Kotková, T. Nováková, Š. Tůmová, T. Kiss, J. Popelka, M. Faměra // *Geomorphology*. – 2019. – Vol. 329. – P. 46-57.
356. Lair, G.J. How do long-term development and periodical changes of river-floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers / G.J. Lair, F. Zehetner, M. Fiebig, M.H. Gerzabek, C.A.M. Van Gestel, T. Hein, S. Hohensinner, P. Hsu, K.C. Jones, G. Jordan, A.A. Koelmans, A. Poot, D.M.E. Slijkerman, K.U. Totsche, E. Bondar-Kunze, J.A.C. Barth // *Environmental Pollution*. – 2009. – Vol. 157, № 12. – P. 3336-3346.
357. Liu, C. Microbial reduction of Fe(III) and sorption/precipitation of Fe(II) on *Shewanella putrefaciens* strain CN32 / C. Liu, J.M. Zachara, Y.A. Gorby, J.E. Szecsody, C.F. Brown // *Environmental Science & Technology*. – 2001. – Vol. 35, № 7. – P. 1385-1393.
358. Maher, B.A. Formation of ultrafine-grained magnetite in soils / B.A. Maher, R.M. Taylor // *Nature*. – 1988. – Vol. 336, № 6197. – P. 368-370.
359. Maher, B.A. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications / B.A. Maher // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 1998. – Vol. 137. – P. 25-54.
360. Manceau, A. Quantitative Zn speciation in smelter-contaminated soils by EXAFS spectroscopy / A. Manceau, B. Lanson, M.L. Schlegel, J.C. Harge, M. Musso,

L. Eybert-Berard, J-L. Hazemann, D. Chateigner, G.M. Lamble // *American Journal of Science*. – 2000. – Vol. 300. – P. 289-343.

361. Manceau, A. Quantitative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques / A. Manceau, M.A. Marcus, N. Tamura // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. – 2002. – Vol. 49, № 1. – P. 341-428.

362. Manceau, A. Molecular-scale speciation of Zn and Ni soils ferromanganese nodules from loess soils of the Mississippi Basin / A. Manceau, N. Tamura, R.S. Celestre, A.A. MacDowell, N. Geoffroy, G. Sposito, H.A. Padmore // *Environmental Science & Technology*. – 2003. – Vol. 37, № 1. – P. 75-80.

363. Manning, B.A. Modeling competitive adsorption of arsenate with phosphate and molybdate on oxide minerals / B.A. Manning, S. Goldberg // *Soil Science Society of America Journal*. – 1996. – Vol. 60, № 1. – P. 121-131.

364. Manning, B.A. Surface structures and stability of arsenic (III) on goethite: spectroscopic evidence for inner-sphere complexes / B.A. Manning, S.E. Fendorf, S. Goldberg // *Environmental Science & Technology*. – 1998. – Vol. 32, № 16. – P. 2383-2388.

365. Marković, M. Potentially toxic elements in the riparian soils of the Sava River / M. Marković, T. Zuliani, S.B. Simić, Z. Mataruga, O. Kostić, S. Jarić, J. Vidmar, R. Milačić, J. Ščančar, M. Mitrović, P. Pavlović // *Journal of Soils and Sediments*. – 2018. – Vol. 18, № 12. – P. 3404-3414.

366. Martinez, C.E. Zinc coordination to multiple ligand atoms in organic-rich surface soils / C.E. Martinez, K.A. Bazilevskaya, A. Lanzirrotti // *Environmental Science & Technology*. – 2006. – Vol. 40, № 18. – P. 5688-5695.

367. Matys Grygar, T. Regional contamination of Moravia (South-Eastern Czech Republic): temporal shift of Pb and Zn loading in fluvial sediments / T. Matys Grygar, J. Sedláček, O. Bábek, T. Nováková, L. Strnad, M. Mihaljevič // *Water, Air & Soil Pollution*. – 2012. – Vol. 223, № 2. – P. 739-753.

368. McBride, M.B. Copper in solid and solution phases of soil / M.B. McBride // *In Copper in soils and plants* / Eds.: Logeragan Y.F., Robson A.D., Graham K.D. Academic Press. N.Y., 1981. – P. 25-43.

369. McBride, M.B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils / M.B. McBride // *Advances in Soil Science*. – 1989. – Vol. 10. – P. 1-56.

370. Menil, F. Systematic trends of  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer isomer shifts in  $(\text{FeO}_n)$  and  $(\text{FeF}_n)$  polyhedra. Evidence of a new correlation between the isomer shift and the inductive effect of the competing bond  $T-X$  ( $- \text{Fe}$ ) (where  $X$  is O or F and  $T$  element with a formal positive charge) / F. Menil // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. – 1985. – Vol. 46, № 7. – P. 763-789.

371. Middelkoop, H. Heavy-metal pollution of the river Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands / H. Middelkoop // *Geologie en Mijnbouw - Netherlands Journal of Geosciences*. – 2000. – Vol. 79, № 4. – P. 411-428.

372. Morin, G. XAFS determination of the chemical form of lead in smelter-contaminated soils and mine tailings: Importance of adsorption process / G. Morin, J.D. Ostergren, F. Juillot, P. Ildefonse, G. Calas, J.E. Brown // *American Mineralogist*. – 1999. – Vol. 84. – P. 420-434.

373. Novakova, T. Distinguishing regional and local sources of pollution by trace metals and magnetic particles in fluvial sediments of the Morava River, Czech Republic / T. Novakova, T.M. Grygar, O. Bábek, M. Famera, M. Mihaljevic, L. Strnad // *Journal of Soils and Sediments*. – 2013. – Vol. 13, № 2. – P. 460-473.

374. Olivie-Lauquet, G. Release of trace elements in wetlands: Role of seasonal variability / G. Olivie-Lauquet, G. Gruau, A. Dia, C. Riou, A. Jaffrezic, O. Henin // *Water*

Research. – 2001. – Vol. 35, № 4. – P. 943-952.

375. Overesch, M. Metals and arsenic in soils and corresponding vegetation at Central Elbe river floodplains (Germany) / M. Overesch, J. Rinklebe, G. Broll, H-U. Neue // *Environmental Pollution*. – 2007. – Vol. 145. – P. 800-812.

376. Post, J.E. Manganese oxide minerals: Crystal structures and economic and environmental significance / J.E. Post // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 1999. – Vol. 96, № 7. – P. 3447-3454.

377. Rabenhorst, M.C. Temperature effects on iron reduction in a hydric soil / M.C. Rabenhorst, K.L. Castenson // *Soil Science*. – 2005. – Vol. 170, № 9. – P. 734-742.

378. Rate, A.W. Distribution of heavy metals in near-shore sediments of the Swan River estuary, Western Australia / A.W. Rate, A.E. Robertson, A.T. Borg // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2000. – Vol. 124. – P. 155-168.

379. Rhoton, F.E. Contribution of magnetite to oxalate-extractable iron in soils and sediments from the Maumee River basin of Ohio / F.E. Rhoton, J.M. Bigham, L.D. Norton, N.T. Smeck // *Soil Science Society of America Journal*. – 1981. – Vol. 45, № 3. – P. 645-649.

380. Roberts, A.P. Magnetic properties of sedimentary greigite ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ): An update / A.P. Roberts, L. Chang, C.J. Rowan, C.-S. Horng, F. Florindo // *Reviews of Geophysics*. – 2011. – Vol. 49, № 1. – RG1002.

381. Roden, E.E. Microbial reduction of crystalline Iron (III) oxides: influence of oxide surface area and potential for cell growth / E.E. Roden, J.M. Zachara // *Environmental Science & Technology*. – 1996. – Vol. 30, № 5. – P. 1618-1628.

382. Roden, E.E. Bacterial reductive dissolution of crystalline Fe(III) oxide in continuous-flow column reactors / E.E. Roden, M.M. Urrutia, C.J. Mann // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2000. – Vol. 66, № 3. – P. 1062-1065.

383. Roden, E.E. Influence of biogenic Fe(II) on bacterial crystalline Fe(III) oxide reduction / E.E. Roden, M.M. Urrutia // *Geomicrobiology Journal*. – 2002. – Vol. 19. – P. 209-251.

384. Roden, E.E. Analysis of long-term bacterial vs. chemical Fe(III) oxide reduction kinetics / E.E. Roden // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2004. – Vol. 68, № 15. – P. 3205-3216.

385. Schulz-Zunkel, C. Trace metal dynamics in floodplain soils of the river Elbe: A review / C. Schulz-Zunkel, F. Krueger // *Journal of Environmental Quality*. – 2009. – Vol. 38. – P. 1349-1362.

386. Schwartz, R. Assessment of highly polluted fluvisol in the Spittelwasser floodplain based on national guideline values and MNA-Criteria / R. Schwartz, J. Gerth, H. Neumann-Hensel, S. Bley, U. Förstner // *Journal of Soils and Sediments*. – 2006. – Vol. 6, № 3. – P. 145-155.

387. Schwertmann, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenviroment / U. Schwertmann // *Iron in soil and clay minerals*. Dordrecht: Rediel. – 1988. – P. 267-308.

388. Shaheen, S.M. Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany / S.M. Shaheen, J. Rinklebe // *Geoderma*. – 2014. – Vol. 228-229. – P. 142-159.

389. Shaheen, S.M. Biogeochemical factors governing Co, Ni, Se, and V dynamics in periodically flooded Egyptian north Nile delta rice Soils / S.M. Shaheen, J. Rinklebe, T. Frohne, J. White, R. DeLaune // *Soil Science Society of America Journal*. – 2014. – Vol. 78. – P. 1065-1078.

390. Skovbjerg, L.L. The mechanisms of reduction of hexavalent chromium by green rust sodium sulphate: Formation of Cr-goethite / L.L. Skovbjerg, S.L.S. Stipp, S.

- Utsunomiya, R.C. Ewing // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2006. – Vol. 70. – P. 3582-3592.
391. Smedley, P.L. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters / P.L. Smedley, D.G. Kinniburgh // *Applied Geochemistry*. – 2002. – Vol. 17, № 5. – P. 517-568.
392. Sparks, D.L. *Environmental soil chemistry* / D.L. Sparks. Second Edition. Academic press. USA, 2003. – 352 p.
393. Sposito, G. *The surface chemistry of soils* / G. Sposito. N.Y. : Oxford Univ. press, 1984. – 320 p.
394. Sposito, G. *The chemistry of soil* / G. Sposito. N.Y. : Oxford Univ. press, 1989. – 338 p.
395. Stanjek, H. Evidence of biogenic greigite (ferrimagnetic  $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) in soil / H. Stanjek, J.W.E. Fassbinder, H. Vali, H. Wagele, W. Graf // *European Journal of Soil Science*. – 1994. – Vol. 45. – P. 97-103.
396. Stele, A. Genesis of magnetic anomalies and magnetic properties of archaeological sediments in floodplain wetlands of the Fossa Carolina / A. Stele, J.W. Fassbinder, J.W. Härtling, J. Bussmann, J. Schmidt, C. Zielhofer // *Archaeological Prospection*. – 2020. – Vol. 27, № 2. – P. 169-180.
397. Sutherland, R.A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii / R.A. Sutherland // *Environmental Geology*. – 2000. – Vol. 39, № 6. – P. 611-627.
398. Topsoe, H. Mössbauer spectra of Stoichiometric and nonstoichiometric  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  microcrystals / H. Topsoe, J.A. Dumesic, M. Boudrt // *Journal de Physique Colloques*. – 1974. – Vol. 35 (C6). – P. 411-413.
399. Vaughan, K.L. Saturation and temperature effects on the development of reducing conditions in soils / K.L. Vaughan, M.C. Rabenhorst, B.A. Needelman // *Soil Science Society of America Journal*. – 2009. – Vol. 73, № 2. – P. 663-667.
400. Watson, J.H.P. Structural and magnetic studies on heavy-metal-adsorbing iron sulphide nanoparticles produced by sulphate-reducing bacteria / J.H.P. Watson, B.A. Cressey, A.P. Roberts, D.C. Ellwood, J.M. Charnock, A.K. Soper // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2000. – Vol. 214. – P. 13-30.
401. Weber, F-A. Multi-metal contaminant dynamics in temporarily flooded soil under sulfate limitation / F-A. Weber, A. Voegelin, R. Kretzschmar // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2009. – Vol. 73. – P. 5513-5527.
402. World reference base for soil resources. Draft. Isss/Isric/Fao. Wageningen-Rome, 1994. – 161 p.
403. World reference base for soil resources. Isss/Isric/Fao, Wageningen-Rome, 1998. № 84. – 88 p.
404. Zhang, C. Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods / C. Zhang, Q. Qiao, J.D.A. Piper, B. Huang // *Environmental Pollution*. – 2011. – Vol. 159. – P. 3057-3070.

Нумерация разрезов, образцов горизонтов почв и наилок,  
отобранных в поймах малых рек г. Перми

Пойма реки	Номер разреза	Номера образцов горизонтов и наилок			
		наилки	AYg,x; AYg,ur,x; AYg,ur,X	G <sup>~</sup> ,x; G <sup>~</sup> ,X	C1g <sup>~</sup> ,x; C1g <sup>~</sup> ,X
Ива	80	1	24	49	66
	81	2	25	50	-
	82	3	26	51	-
	83	4	27	52	-
	84	5	28	53	-
	85	6	29	-	67
Егошиха	90	7	30	54	68
	91	8	31	55	-
	92	9	32	56	-
	93	10	33	57	-
	94	11	34	58	-
	95	12	35	-	69
Данилиха	100	13	36	59	-
	101	14	37	60	-
	102	15	38	61	-
	103	16	39	62	-
	104	17	40	63	-
	105	18	41	-	70
Верхняя Мулянка	110	-	42	64	71
	111	-	43	65	72
Ласьва	120*	19	44	-	73
	121	20	45	-	74
	122	21	46	-	75
	123	22	47	-	76
	124	23	48	-	77

Примечание: \* для слоёв аллювия присвоены номера: C2g<sup>~</sup>,X – 78; C3g<sup>~</sup>,x – 79; C4g<sup>~</sup>,x – 80.

Приложение 2

Химический состав коренных пород в долине р. Егошиха г. Перми

Таблица 1

Валовой химический состав коренных пород палеозоя в долине р. Егошиха, мг/кг

порода	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Nb
Пермская глина	90	13	110	7	137	65	285	790	58339	22	49	16	4505	139	9
Серый песчаник	55	13	171	7	75	39	341	1827	36991	17	27	20	2414	108	нпо
Зеленовато-серый песчаник	70	12	233	нпо	88	83	393	859	25534	15	35	10	3271	122	5

Окончание таблицы 1

порода	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
Пермская глина	21401	68712	253763	401	184	100	13430	43958
Серый песчаник	12995	37612	161489	нпо	нпо	580	5395	184763
Зеленовато-серый песчаник	12741	58645	236797	218	32	330	9039	116273

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Коэффициенты превышения химическими элементами кларков  $K_k$  в коренных породах палеозоя в долине р. Егошиха

порода	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
Кларк*	50	10	200	5	40	20	300	850	38000	50	100	30	4600	300	6300	71300	330000	800	850	13600	13700
Пермская глина	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	0,6	<b>1,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	1,0	0,9	<b>1,5</b>	0,4	0,5	0,5	1,0	0,5	<b>3,4</b>	1,0	0,8	0,5	0,2	1,0	<b>3,2</b>
Серый песчаник	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	0,9	<b>1,4</b>	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	1,0	0,3	0,3	0,7	0,5	0,4	<b>2,1</b>	0,5	0,5	нпо	нпо	0,4	<b>13,5</b>
Зеленовато-серый песчаник	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	нпо	<b>2,2</b>	<b>4,2</b>	<b>1,3</b>	1,0	0,7	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	<b>2,0</b>	0,8	0,7	0,3	0,01	0,7	<b>8,5</b>
Среднее	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	0,9	<b>1,4</b>	<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	0,3	0,4	0,5	0,7	0,4	<b>2,5</b>	0,8	0,7	0,4	0,1	0,7	<b>8,4</b>

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения; \* - кларк для почв по Виноградову [35].

Приложение 3

Погодно-климатические условия

Таблица 1

Многолетние значения средних месячных температур воздуха ( $t_{cp. м^{\circ}C}$ ) и суммы осадков (мм) по данным метеостанции г. Перми

месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь	Норма
$t_{cp. м^{\circ}C}$	10,4	16,4	18,1	14,9	9,2	13,8
$\Sigma$ Ос.	55,0	76,0	75,0	76,0	73,0	355

Таблица 2

Подекадные значения среднесуточных температур воздуха ( $t_{cp. c^{\circ}C}$ ) и суммы осадков (мм) по данным метеостанции г. Перми

месяц	май		июнь			июль			август			сентябрь		Средняя температура и сумма осадков за период наблюдений
	декады	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
<b>2006 г.</b>														
$t_{cp. c^{\circ}C}$	9,8	14,7	18,5	17,8	21,5	12,9	24,0	12,6	12,9	16,3	18,2	17,9	7,1	15,7
$\Sigma$ Ос.	44,4	32,9	12,1	7,8	10,2	45,2	13,0	69,1	5,2	20,2	17,3	10,2	37,2	325
<b>2007 г.</b>														
$t_{cp. c^{\circ}C}$	11,8	19,1	7,7	15,0	17,7	22,9	21,2	16,9	18,2	18,5	18,7	11,9	10,2	16,1
$\Sigma$ Ос.	31,9	28,8	21,4	32,8	123,0	20,4	33,1	26,7	57,7	2,6	28,0	21,8	9,1	437
<b>2008 г.</b>														
$t_{cp. c^{\circ}C}$	13,5	10,5	9,1	18,7	19,2	18,0	21,9	21,2	13,0	19,6	18,3	10,9	6,7	15,4
$\Sigma$ Ос.	14,6	45,2	6,3	41,0	13,1	12,3	27,4	21,8	36,2	17,1	36,7	63,1	16,1	351
<b>2014 г.</b>														
$t_{cp. c^{\circ}C}$	16,6	16,8	15,8	13,2	16,2	16,4	13,3	15,0	19,4	17,1	16,5	9,2	8,6	14,9
$\Sigma$ Ос.	1,0	9,0	30,0	41,6	12,7	59,1	25,8	22,0	0,3	24,4	31,7	12,2	19,6	289

Приложение 4

Окислительно-восстановительное состояние почв пойм

Таблица 1

Режимные наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом  $E_h$ , mV, реакцией среды pH, температурой  $t$ , °C, парциальным давлением водорода в почвенном растворе rH и влажностью W, % в почвах пойм малых рек города Перми, 2006 г.

Горизонт, глубина, см	показатель	22 май	01 июн	13 июн	29 июн	10 июл	27 июл	09 авг	22 авг	05 сен	сред- нее
р. 80, урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива											
AY <sub>g,ur,x</sub> 0-15	Eh, mV	378	331	-30	317	66	202	231	-174	334	184
	pH	7,6	7,2	7,4	6,9	6,5	6,4	5,8	6,7	7,2	6,9
	t, °C	8,9	17,6	14,2	16,6	14,2	15,5	13,8	13,2	13,8	14,2
	rH	28,7	25,9	13,7	24,8	15,3	19,8	19,7	7,3	26,1	20,1
	W, %	46,9	38,1	47,2	47,3	47,1	47,2	44,7	48,9	46,4	45,9
G <sub>~</sub> ,X 15-30	Eh, mV	168	112	13	31	-17	-95	-53	59	91	34
	pH	7,5	6,6	7,8	6,3	6,2	6,4	5,8	6,5	6,8	6,7
	t, °C	8,5	15,1	14,5	15,7	13,4	14,1	12,6	13,4	13,3	13,4
	rH	20,9	17,2	16,1	13,7	11,8	9,5	9,7	15,1	16,8	14,5
	W, %	39,8	30,8	39,7	41,6	40,2	41,2	40,8	41,8	39,5	39,5
р. 90, хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха											
AY <sub>g,ur,X</sub> 0-15	Eh, mV	203	180	164	277	64	444	173	136	242	209
	pH	7,1	7,4	6,9	6,2	6,1	7,6	6,6	7,0	7,4	6,9
	t, °C	9,2	13,2	12,8	16,4	13,0	12,8	12,7	14,0	14,0	13,1
	rH	21,4	21,1	19,6	22,1	14,3	30,8	19,3	18,8	23,3	21,2
	W, %	50,1	41,7	48,5	47,4	49,5	46,3	48,6	38,7	48,8	46,6
G <sub>~</sub> ,X 15-30	Eh, mV	164	180	153	62	-111	396	179	91	74	132
	pH	7,1	6,8	6,4	6,5	6,5	7,5	6,5	6,9	7,1	6,8
	t, °C	8,9	12,6	12,5	15,7	12,7	12,3	12,8	14,3	13,7	12,8
	rH	20,1	19,8	18,2	15,2	9,1	29,0	19,3	17,0	16,8	18,3
	W, %	41,8	34,2	40,7	39,8	41,6	40,6	40,2	38,8	39,3	39,7
р. 100, Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха											
AY <sub>g,ur,X</sub> 0-22	Eh, mV	371	280	406	405	396	438	283	302	409	366
	pH	7,6	7,7	6,7	6,2	6,0	7,4	6,3	6,3	7,1	6,8
	t, °C	9,6	11,4	13,0	16,4	13,1	13,1	12,9	14,8	15,2	13,3
	rH	28,5	25,3	27,7	26,5	26,0	30,2	22,6	23,2	28,5	26,5
	W, %	49,6	36,8	43,0	46,9	48,8	46,7	45,7	44,3	37,8	44,4
G <sub>~</sub> ,X 22-70	Eh, mV	54	-70	-109	-76	25	-99	35	-92	15	-35
	pH	8,1	7,7	7,1	6,8	7,2	7,7	6,8	6,6	6,8	7,2
	t, °C	10,2	10,7	12,6	14,2	12,5	12,4	12,7	14,0	15,3	12,7
	rH	18,2	12,9	10,4	10,9	15,3	11,9	14,8	10,0	14,2	13,2
	W, %	41,8	39,2	40,9	41,1	41,2	41,4	41,6	40,9	40,5	40,9

Продолжение приложения 4

Таблица 2

Режимные наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом  $E_h$ , mV, реакцией среды pH, температурой  $t$ , °C, парциальным давлением водорода в почвенном растворе rH и влажностью W, % в почвах пойм малых рек города Перми, 2008 г.

Горизонт, глубина, см	показатель	19 май	29 май	09 июн	19 июн	29 июн	27 июл	06 авг	22 сен	сред- нее
р. 80, урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива										
AYg,ur,x 0-15	Eh, mV	302	312	321	304	336	348	274	346	318
	pH	7,5	7,0	6,9	6,5	7,2	7,0	6,8	7,1	7,0
	t, °C	16,3	9,2	8,7	22,6	17,4	18,0	13,2	8,7	14,3
	rH	25,5	25,2	25,3	23,4	26,1	26,1	23,3	26,6	25,2
	W, %	46,3	46,9	46,3	48,2	45,6	45,8	47,7	46,3	46,6
G <sup>~</sup> ,X 15-30	Eh, mV	173	97	132	141	131	152	113	31	121
	pH	6,7	6,8	6,6	6,9	6,9	6,5	6,3	7,0	6,7
	t, °C	9,0	9,5	9,4	15,6	16,0	17,0	9,9	9,7	12,0
	rH	19,6	17,1	17,9	18,7	18,4	18,3	16,6	15,1	17,7
	W, %	38,5	40,0	39,3	39,6	37,3	38,4	40,3	38,5	39,0
р. 90, хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха										
AYg,ur,X 0-15	Eh, mV	282	298	231	153	254	303	233	329	260
	pH	6,9	6,8	6,8	7,2	6,9	7,0	6,8	7,2	7,0
	t, °C	15,8	8,3	6,8	15,3	15,8	16,9	11,2	7,9	12,2
	rH	23,7	24,3	21,9	19,8	22,7	24,5	21,9	26,2	23,1
	W, %	45,2	44,0	42,8	50,8	44,2	43,9	45,1	44,8	45,1
G <sup>~</sup> ,X 15-30	Eh, mV	42	123	109	52	90	139	121	39	89
	pH	7,3	7,4	7,1	6,8	7,0	7,2	6,6	7,0	7,1
	t, °C	9,7	9,9	7,5	11,3	13,2	14,1	12,3	9,3	10,9
	rH	16,1	19,2	18,1	15,5	17,2	19,3	17,5	15,4	17,3
	W, %	38,2	37,5	37,8	41,8	40,2	39,2	39,9	38,4	39,1
р. 100, Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха										
AYg,ur,X 0-22	Eh, mV	293	325	259	273	250	312	264	317	287
	pH	7,4	7,0	7,1	6,9	6,6	6,8	6,9	6,5	6,9
	t, °C	9,5	8,7	6,4	15,1	14,7	17,0	12,1	7,4	11,4
	rH	25,3	25,6	23,6	23,4	22,0	24,5	23,2	24,4	24,0
	W, %	47,8	45,5	44,5	49,4	47,8	45,7	46,5	45,2	46,6
G <sup>~</sup> ,X 22-70	Eh, mV	44	133	85	98	58	107	56	73	82
	pH	7,3	6,7	6,7	7,2	6,8	7,0	6,7	7,2	7,0
	t, °C	7,2	7,5	7,3	10,8	12,7	15,5	10,9	9,2	10,1
	rH	16,2	18,2	16,5	17,9	15,7	17,8	15,4	17,0	16,8
	W, %	38,5	35,7	36,7	39,4	38,8	38,9	40,8	38,8	38,5

Продолжение приложения 4

Таблица 3

Режимные наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом  $E_h$ , мВ, реакцией среды рН, температурой  $t$ , °С, парциальным давлением водорода в почвенном растворе  $rH$  и влажностью  $W$ , % в почвах пойм малых рек города Перми, 2014 г.

Горизонт, глубина, см	показатель	29 май	07 июн	16 июн	29 июн	05 июл	16 июл	02 авг	25 авг	13 сен	Сред- нее
р. 80, урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, пойма р. Ива											
AYg,ur,x 0-15	Eh, mV	392	-28	-11	236	51	253	361	298	312	207
	pH	7,2	7,1	7,3	7,1	7,2	7,0	7,2	6,9	6,8	7,1
	t, °C	8,5	11,2	12,3	15,2	15,4	18,1	13,0	12,8	12,3	13,2
	rH	28,4	13,2	14,2	22,5	16,2	22,8	27,1	24,3	24,6	21,5
	W, %	40,3	45,3	45,7	42,4	46,8	45,3	43,7	45,8	45,1	44,5
G~,X 15-30	Eh, mV	157	-111	-73	134	103	155	77	136	57	71
	pH	6,9	7,2	7,5	7,3	6,9	7,2	7,4	7,0	6,9	7,1
	t, °C	7,4	11,8	11,2	14,3	13,1	16,4	12,0	11,5	11,2	12,1
	rH	19,5	10,5	12,4	19,3	17,4	19,8	17,5	18,8	15,8	16,8
	W, %	37,3	39,3	39,2	37,8	39,8	38,7	38,3	37,4	36,9	38,3
р. 90, хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Егошиха											
Горизонт, глубина, см	показатель	29 май	06 июн	16 июн	28 июн	04 июл	26 июл	01 авг	23 авг	13 сен	Сред- нее
AYg,ur,X 0-15	Eh, mV	374	180	91	442	151	-49	380	400	303	252
	pH	7,3	7,1	7,3	7,5	7,3	7,1	7,2	7,2	6,7	7,2
	t, °C	7,8	10,8	11,9	12,1	17,2	12,1	12,2	14,1	11,5	12,2
	rH	28,0	20,6	17,8	30,6	19,9	12,5	27,9	28,5	24,1	23,3
	W, %	43,3	46,3	48,7	45,4	49,8	49,3	45,7	46,8	47,1	46,9
G~,X 15-30	Eh, mV	229	72	28	15	83	-48	97	-33	64	56
	pH	7,1	7,3	7,5	6,6	7,0	7,4	7,4	7,4	6,8	7,2
	t, °C	6,9	9,2	10,8	11,6	15,7	11,5	11,3	13,3	10,4	11,2
	rH	22,5	17,2	16,0	13,7	16,9	13,1	18,2	13,6	15,9	16,3
	W, %	37,3	38,4	39,7	37,9	40,8	40,3	39,7	37,8	38,1	38,9
р. 100, Хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Данилиха											
Горизонт, глубина, см	показатель	29 май	06 июн	16 июн	21 июн	04 июл	12 июл	09 авг	25 авг	13 сен	Сред- нее
AYg,ur,X 0-22	Eh, mV	409	269	211	522	205	503	532	381	282	368
	pH	7,1	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	7,2	7,2	6,8	7,2
	t, °C	8,1	11,0	12,7	12,1	16,8	11,9	18,8	12,2	11,8	12,8
	rH	28,9	23,8	21,8	33,1	21,7	32,6	32,8	27,9	23,6	27,4
	W, %	40,9	46,2	46,9	43,8	47,1	45,8	42,5	45,4	44,8	44,8
G~,X 22-70	Eh, mV	189	92	14	-49	57	29	42	-12	42	45
	pH	7,3	7,3	7,4	7,5	7,4	7,1	7,2	7,4	6,9	7,3
	t, °C	7,2	8,8	11,3	11,1	15,2	11,4	15,1	10,9	10,2	11,2
	rH	21,4	17,9	15,3	13,3	16,8	15,2	15,9	14,4	15,3	16,2
	W, %	37,9	39,8	40,5	39,8	40,9	39,5	39,7	38,9	38,7	39,5

Продолжение приложения 4

Таблица 4

Режимные наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом  $E_h$ , mV, реакцией среды pH, температурой  $t$ , °C, парциальным давлением водорода в почвенном растворе rH и влажностью W, % в почвах пойм малых рек города Перми, 2007 г.

Горизонт, глубина, см	показатель	23 май	05 июн	18 июн	29 июн	12 июл	23 июл	6 авг	17 авг	28 авг	сред- нее
р. 110, хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. В. Мулянка											
AYg,ur,X 0-10	Eh, mV	291	297	264	358	340	428	386	331	343	338
	pH	6,8	7,1	6,9	7,2	7,1	6,9	7,3	7,1	6,7	7,0
	t, °C	14,5	7,8	12,5	14,5	18,6	13,4	17,3	18,0	18,0	14,9
	rH	23,8	24,9	23,1	26,9	25,9	28,9	27,9	25,6	25,3	25,8
	W, %	46,4	56,9	50,2	51,3	54,6	56,9	н/д	47,3	47,9	51,4
G <sup>~</sup> ,X 30-70	Eh, mV	н/д	191	74	145	156	140	165	114	290	159
	pH	н/д	7,2	7,1	6,8	7,2	7,0	7,2	6,9	7,3	7,1
	t, °C	н/д	8,5	11,5	12,8	14,2	14,0	15,2	13,1	16,3	13,2
	rH	н/д	21,1	16,9	18,8	19,8	18,8	20,3	17,8	24,7	19,8
	W, %	53,9	52,3	44,7	52,9	52,2	53,9	н/д	52,5	42,2	50,6
Горизонт, глубина, см	показатель	01 июн	21 июн	02 июл	12 июл	23 июл	06 авг	16 авг	28 авг	11 сен	сред- нее
р. 120, урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая, пойма р. Ласьва											
AYg,ur,x 0-10	Eh, mV	374	418	412	382	446	454	395	412	231	392
	pH	6,7	7,0	7,1	6,1	6,9	6,4	6,1	6,9	6,8	6,7
	t, °C	10,7	13,8	17,3	17,8	12,2	16,5	15,0	15,6	12,0	14,5
	rH	26,7	28,6	28,4	25,5	29,5	28,6	25,9	28,2	21,8	27,0
	W, %	47,3	43,3	42,8	54,4	46,9	46,3	45,7	38,7	49,3	46,1
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	Eh, mV	229	340	345	293	243	176	233	266	144	252
	pH	6,8	6,9	7,5	6,3	7,1	6,0	6,6	7,1	7,1	6,8
	t, °C	9,8	11,3	13,7	14,5	13,3	15,3	13,1	15,1	11,7	13,1
	rH	21,8	25,9	27,1	22,9	22,8	18,2	21,5	23,5	19,3	22,6
	W, %	34,4	38,5	29,1	42,6	41,5	41,3	40	41,2	42,3	40,0

Примечание: н/д – нет данных.

## Продолжение приложения 4

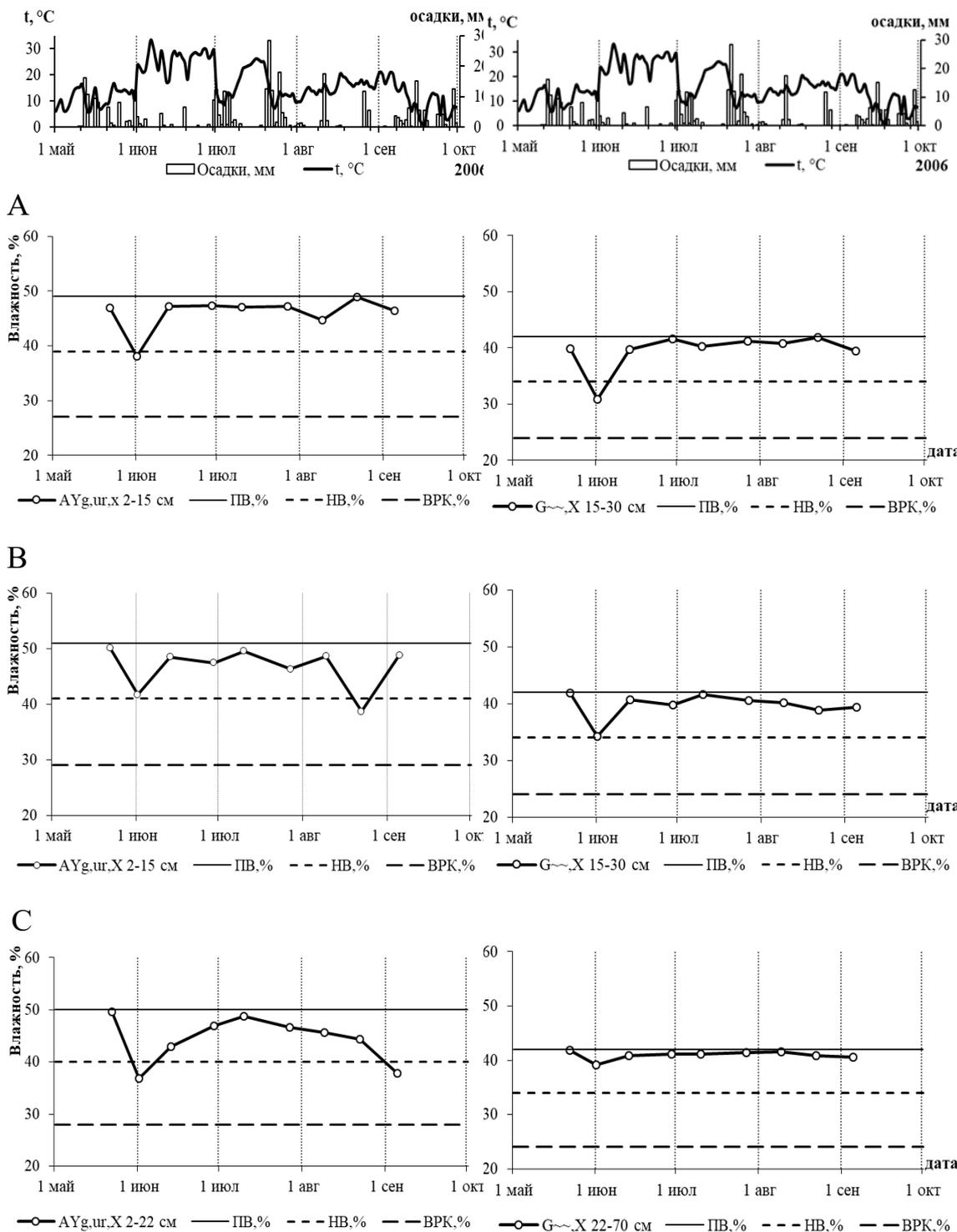


Рисунок 1. Динамика влажности (в % от массы) в почвах пойм малых рек г. Перми, 2006 г.: А) р. Ива, В) р. Егошиха, С) р. Данилиха

## Продолжение приложения 4

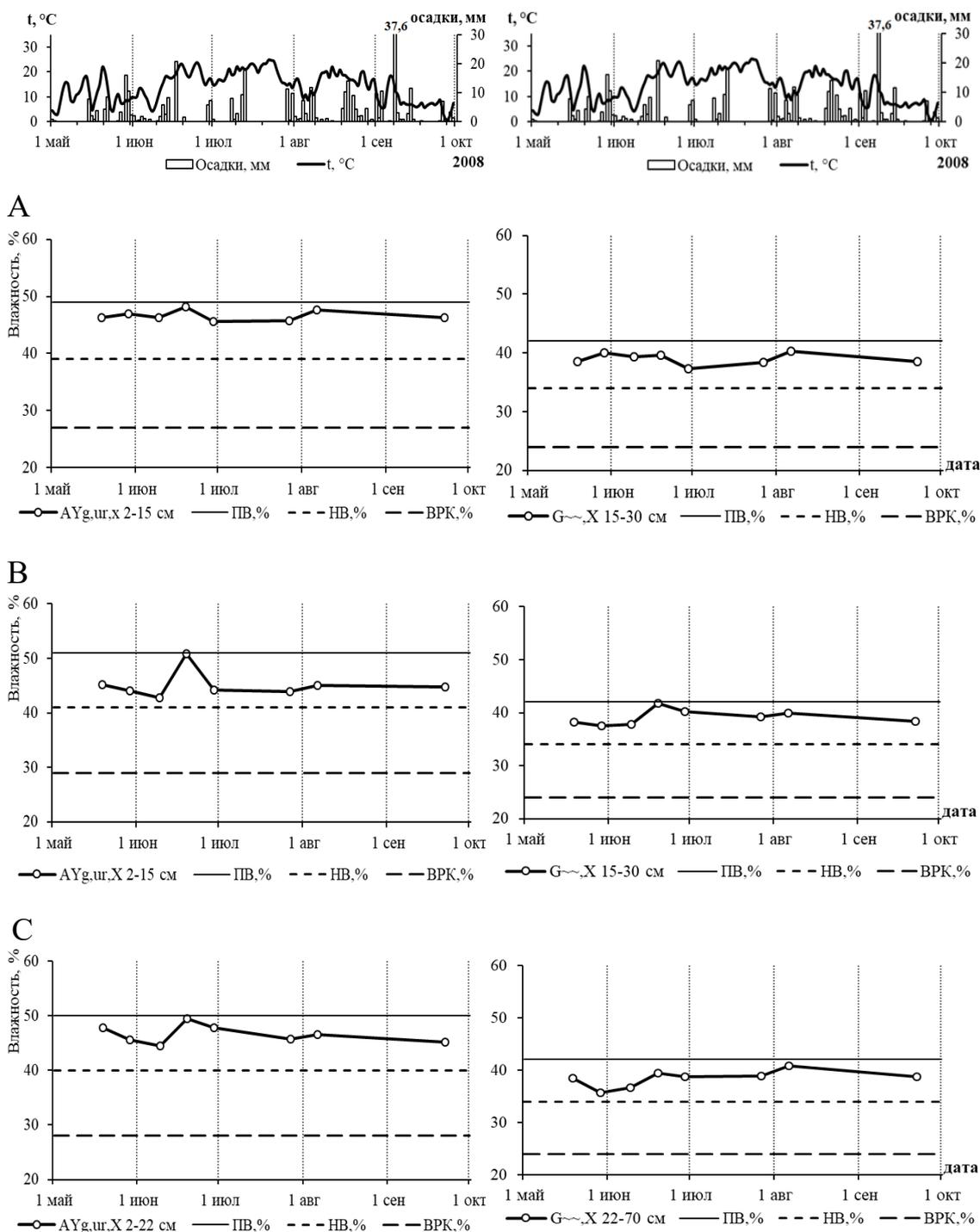
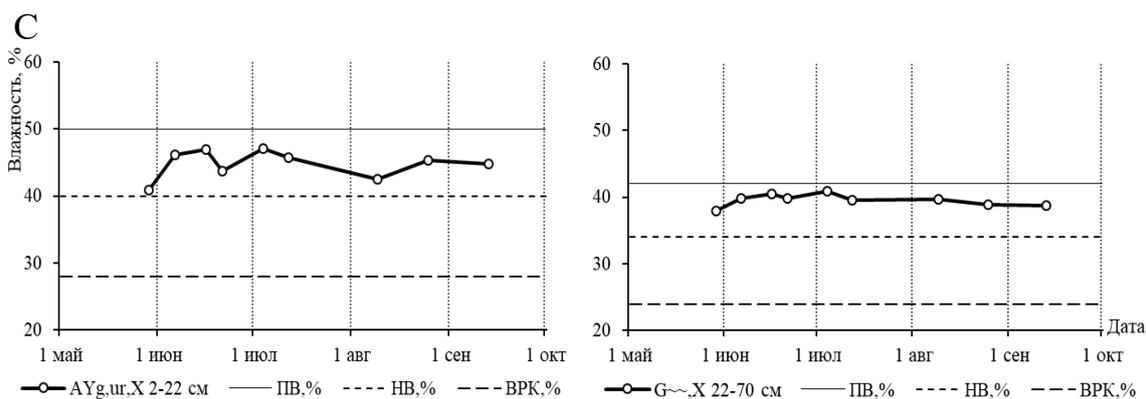
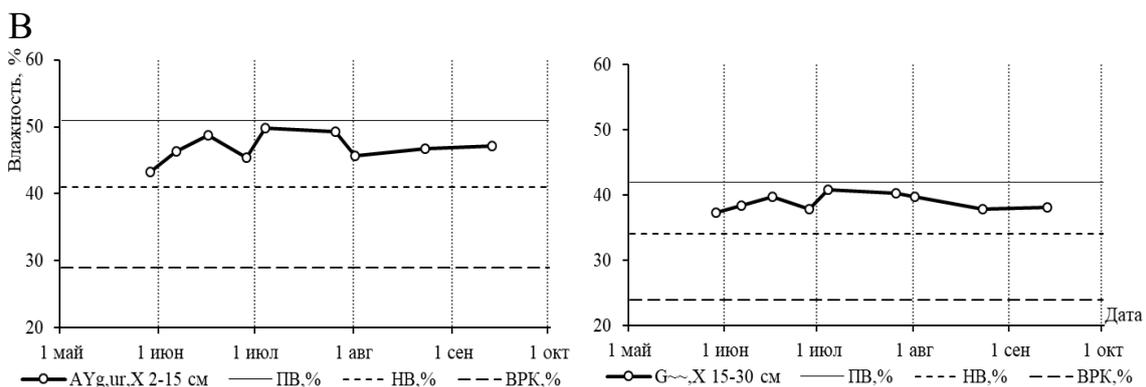
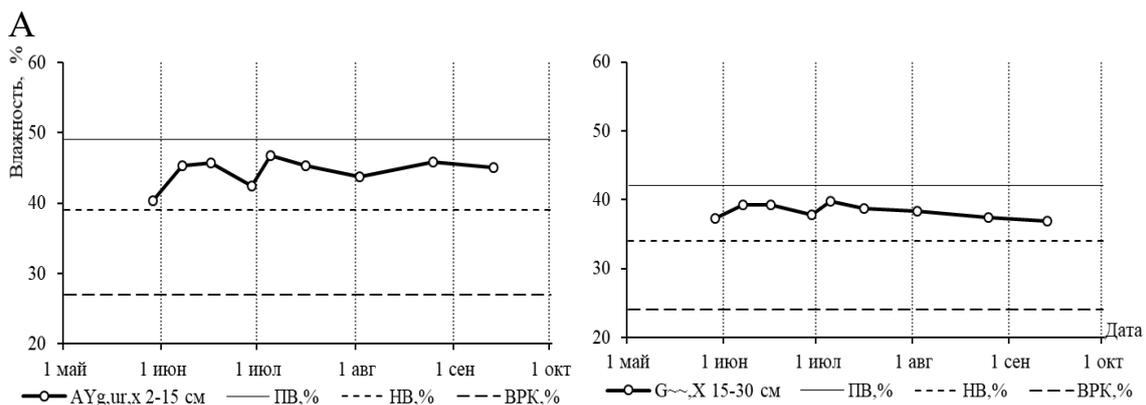
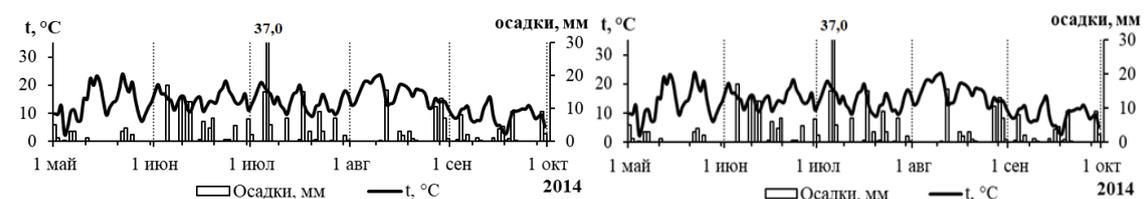


Рисунок 2. Динамика влажности (в % от массы) в почвах поймы малых рек г. Перми, 2008 г.: А) р. Ива, В) р. Егошиха, С) р. Данилиха

## Продолжение приложения 4



**Рисунок 3. Динамика влажности (в % от массы) в почвах пойм малых рек г. Перми, 2014 г.: А) р. Ива, В) р. Егозиха, С) р. Данилиха**

Продолжение приложения 4

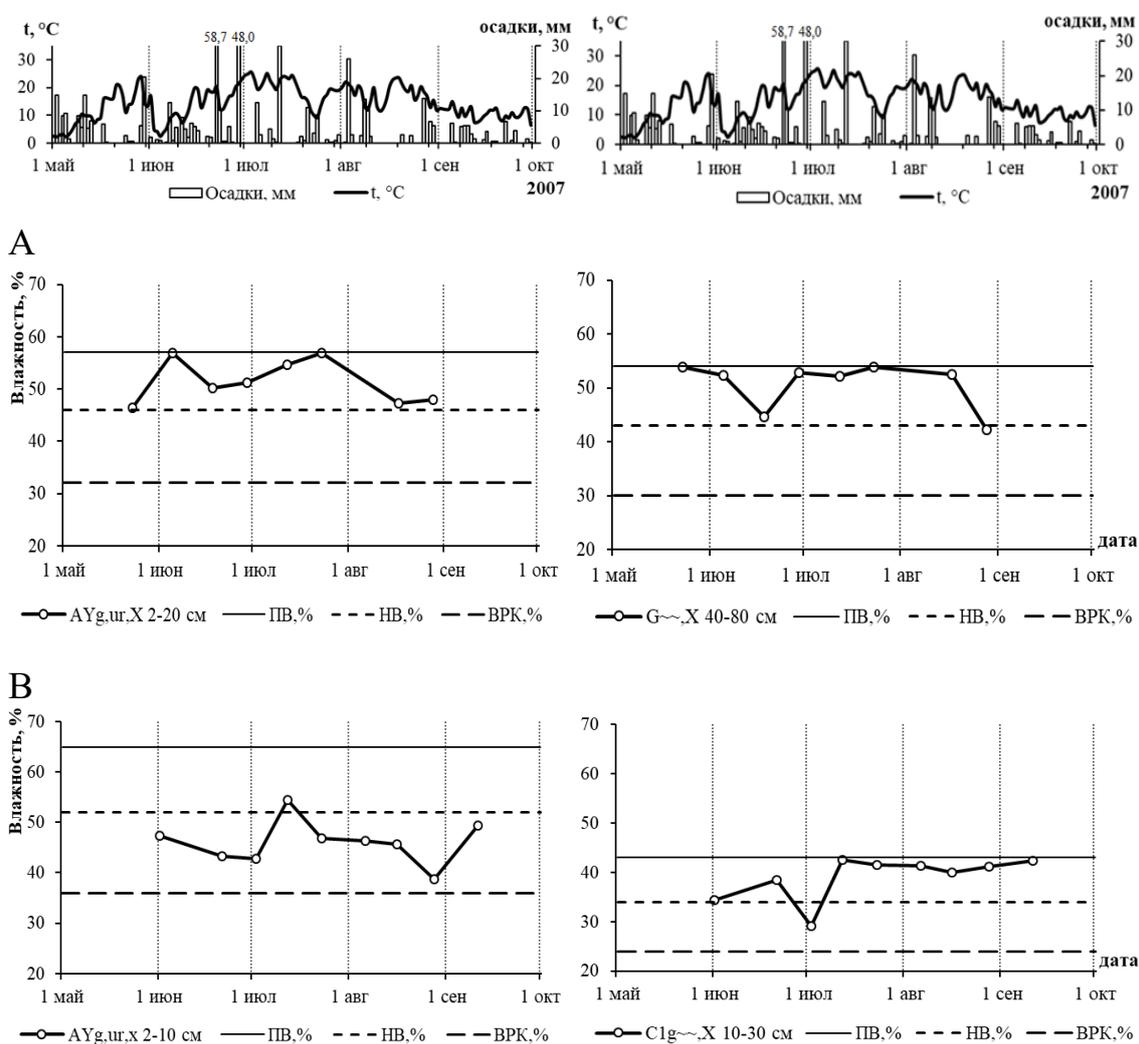


Рисунок 4. Динамика влажности (в % от массы) в почвах пойм малых рек г. Перми, 2007 г.: А) хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, пойма р. Верхняя Мулянка, В) урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, пойма р. Ласьва

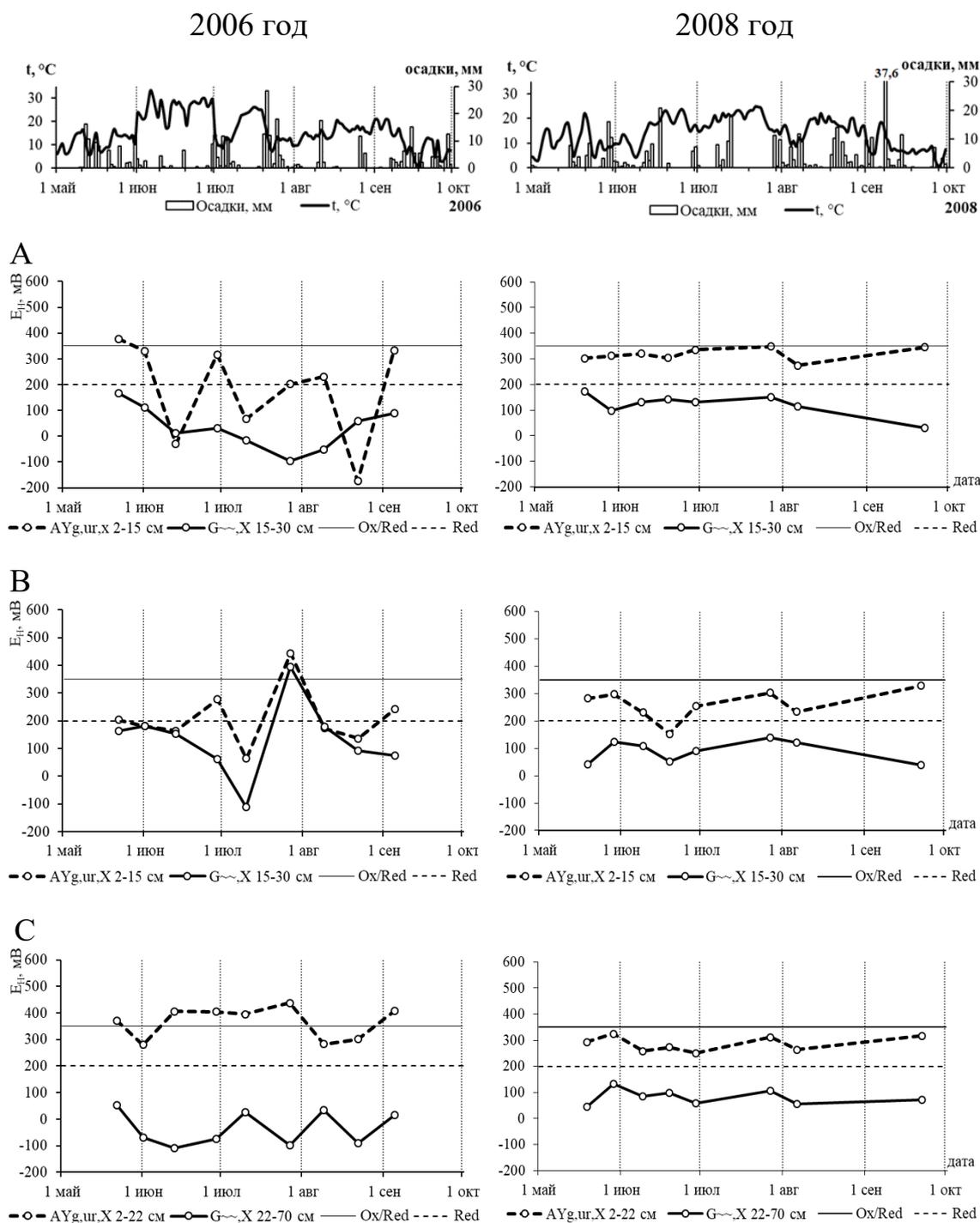


Рисунок 5. Динамика окислительно-восстановительного потенциала ( $E_H$ , мВ) в почвах пойм малых рек г. Перми, 2006, 2008 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха

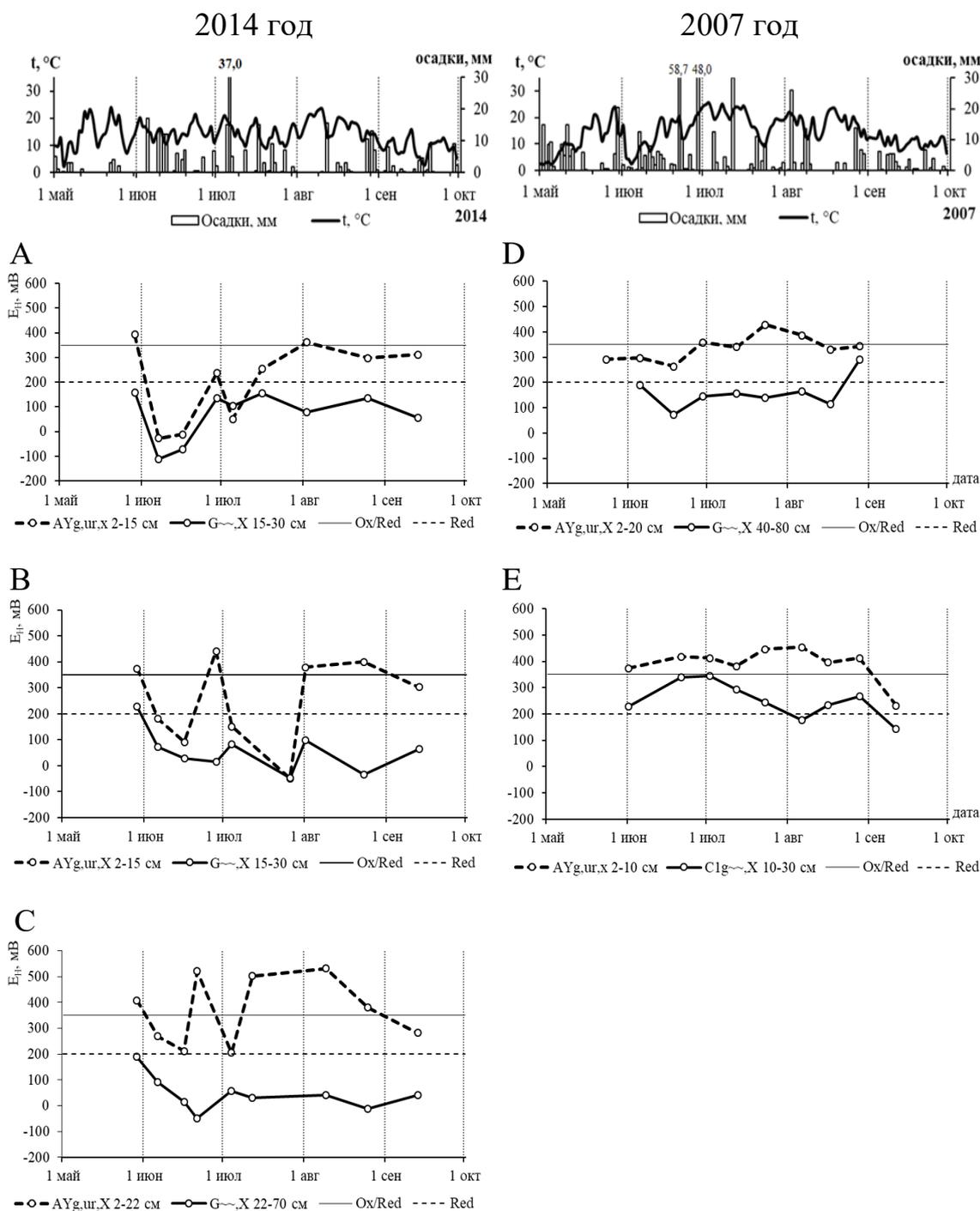


Рисунок 6. Динамика окислительно-восстановительного потенциала ( $E_H$ , мВ) в почвах пойм малых рек г. Перми, 2014, 2007 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха, Д) река Верхняя Мулянка, Е) река Ласьва

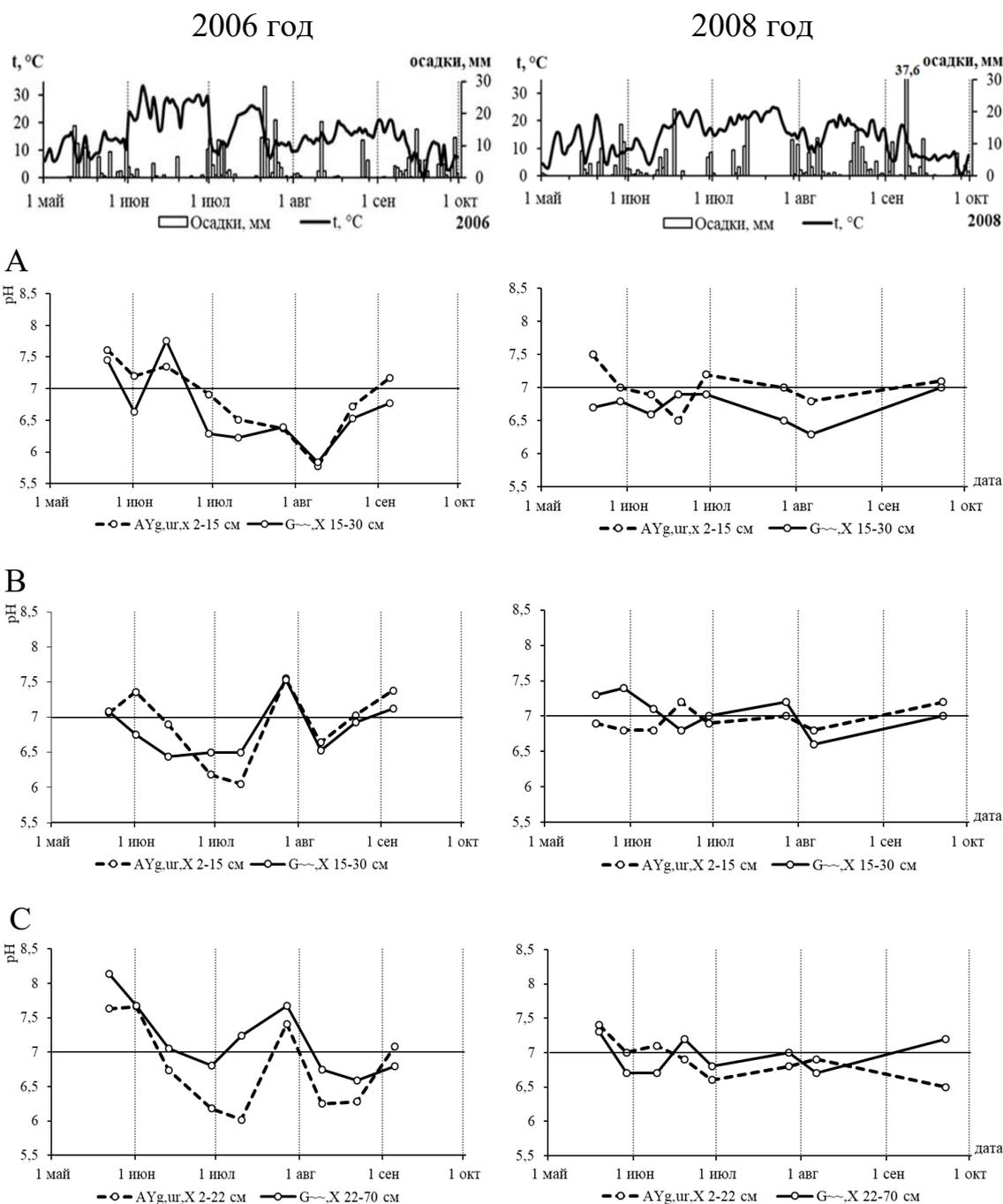


Рисунок 7. Динамика рН в почвах пойм малых рек г. Перми, 2006, 2008 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха

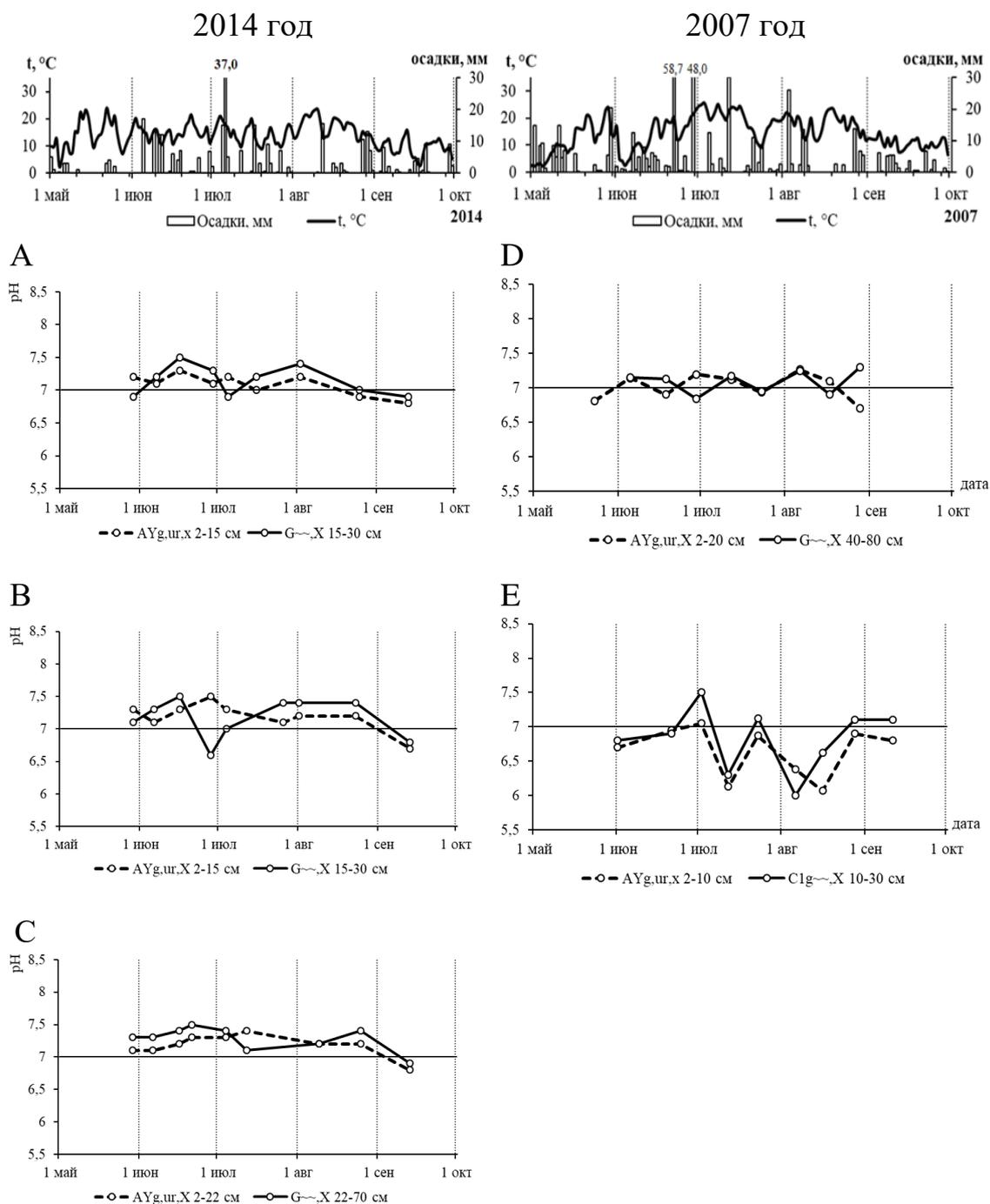


Рисунок 8. Динамика рН в почвах пойм малых рек г. Перми, 2014, 2007 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха, Д) река Верхняя Мулянка, Е) река Ласьва

2006 год

2008 год

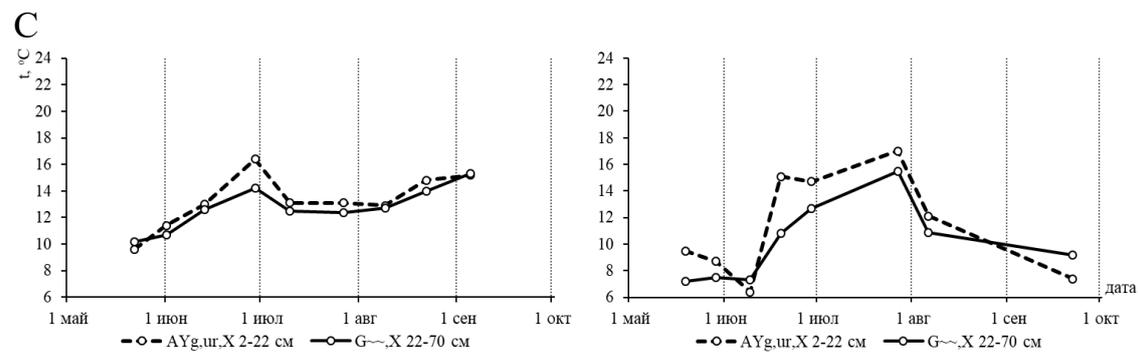
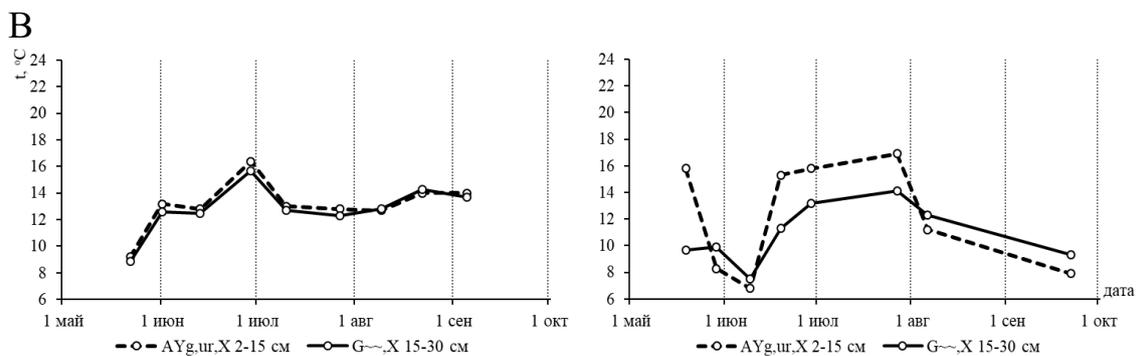
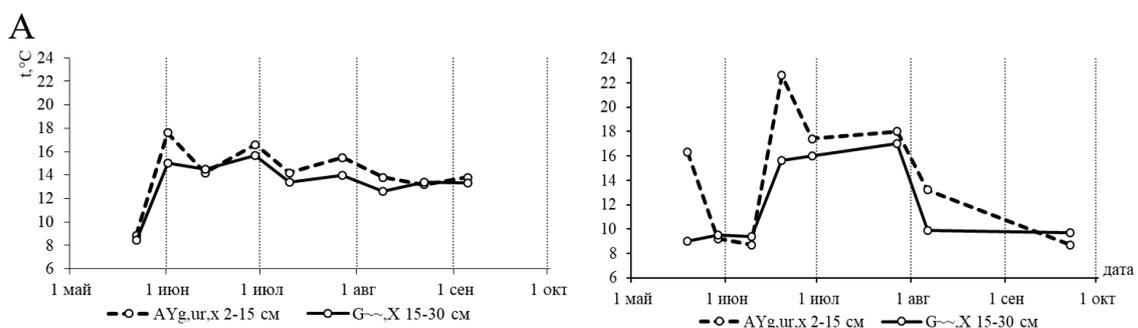
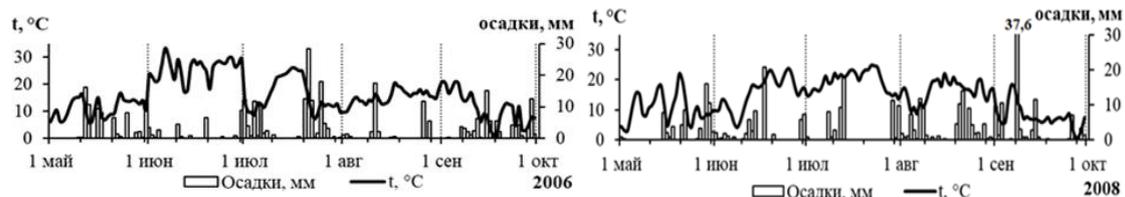


Рисунок 9. Динамика температуры ( $t$ , °C) почв пойм малых рек г. Перми, 2006, 2008 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха

2014 год

2007 год

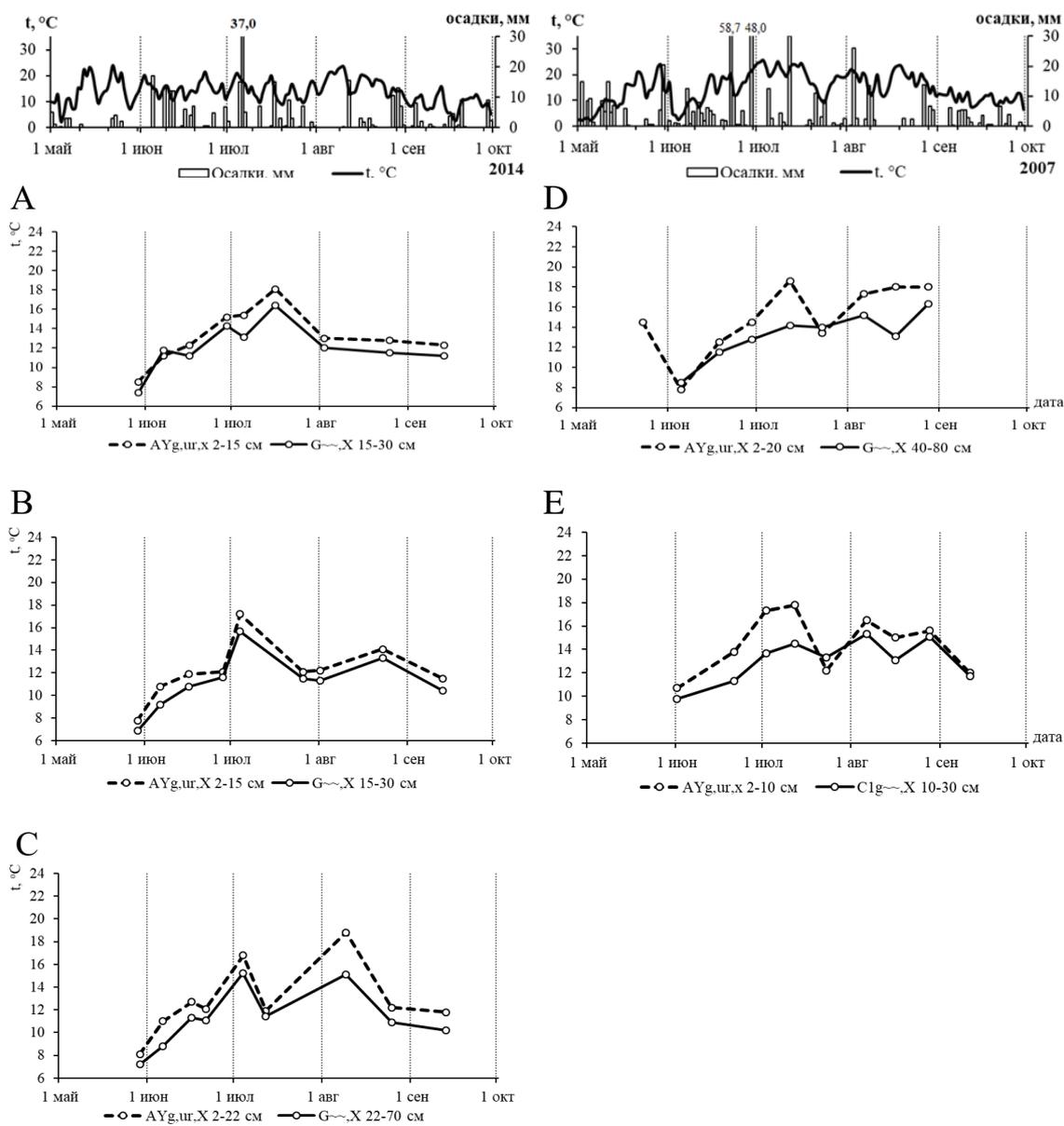


Рисунок 10. Динамика температуры ( $t$ , °C) почв пойм малых рек г. Перми, 2014, 2007 гг.: А) река Ива, В) река Егошиха, С) река Данилиха, Д) река Верхняя Мулянка, Е) река Ласьва

Приложение 5

Удельная магнитная восприимчивость  $\chi$ ,  $10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, почв и наилок пойм малых рек города Перми

разрез №	образец №	наилки	образец №	поверхностные горизонты	образец №	глеевые горизонты	образец №	слои аллювия
почвы поймы нижнего течения р. Ива								
80	1	91	24	80	49	72	66	64
81	2	106	25	105	50	57	н/о	н/о
82	3	116	26	66	51	57	н/о	н/о
83	4	113	27	100	52	58	н/о	н/о
84	5	113	28	92	53	60	н/о	н/о
почвы поймы верхнего течения р. Малая Ива								
85	6	72	29	49	-	-	67	54
86	6.1	67	29.1	50	-	-	67.1	64
87	6.2	65	29.2	48	-	-	67.2	70
88	6.3	65	29.3	50	-	-	67.3	46
89	6.4	70	29.4	48	-	-	67.4	48
почвы поймы нижнего течения р. Егошиха								
90	7	403	30	144	54	96	68	77
91	8	358	31	287	55	147	н/о	н/о
92	9	315	32	281	56	158	н/о	н/о
93	10	358	33	289	57	163	н/о	н/о
94	11	346	34	348	58	150	н/о	н/о
почвы поймы верхнего течения р. Егошиха								
95	12	129	35	62	-	-	69	72
96	12.1	123	35.1	66	-	-	69.1	82
97	12.2	143	35.2	68	-	-	69.2	64
98	12.3	130	35.3	61	-	-	69.3	64
99	12.4	134	35.4	58	-	-	69.4	63
почвы поймы нижнего течения р. Данилиха								
100	13	252	36	96	59	122	-	-
101	14	184	37	60	60	40	-	-
102	15	333	38	58	61	44	-	-
103	16	340	39	54	62	49	-	-
104	17	362	40	54	63	49	-	-
почвы поймы верхнего течения р. Данилиха								
105	18	629	41	68	-	-	70	59
106	18.1	601	41.1	57	-	-	70.1	58
107	18.2	611	41.2	59	-	-	70.2	58
108	18.3	622	41.3	57	-	-	70.3	56
109	18.4	599	41.4	66	-	-	70.4	57
почвы поймы нижнего течения р. Верхняя Мулянка								
110	н/о	н/о	42	62	64	59	71	56
111	н/о	н/о	43	62	65	60	72	73

Примечание: «-» – горизонт в профиле отсутствует; н/о – не определяли.

Окончание приложения 5

разрез №	образец №	наилки	образец №	поверхностные горизонты	образец №	C1 <sub>g</sub> <sup>h</sup> ,X 10-30	образец №	C2 <sub>g</sub> <sup>h</sup> ,X 30-50	образец №	C3 <sub>g</sub> <sup>h</sup> ,X 50-80	образец №	C4 <sub>g</sub> <sup>h</sup> ,X 80-100
почвы поймы нижнего течения р. Ласьва												
120	19	<b>239</b>	44	<b>28</b>	73	<b>80</b>	78	<b>45</b>	79	<b>81</b>	80	<b>70</b>
121	20	<b>143</b>	45	<b>29</b>	74	<b>84</b>						
122	21	<b>132</b>	46	<b>26</b>	75	<b>90</b>						
123	22	<b>91</b>	47	<b>27</b>	76	<b>79</b>						
124	23	<b>140</b>	48	<b>26</b>	77	<b>92</b>						

Примечание: «-» – горизонт в профиле отсутствует; н/о – не определяли.

Приложение 6

Химический состав почв

Таблица 1

Валовой химический состав наилок пойм малых рек города Перми, мг/кг

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr
Ива	80	1	139	15	233	4	120	86	266	1625	37068	25	59	10	4481	225
	81	2	125	33	89	4	70	41	306	1610	39542	25	58	19	4900	279
	82	3	150	33	103	11	111	81	311	1974	42632	28	62	16	4816	269
	83	4	143	28	205	10	110	80	294	1819	42639	26	61	19	4558	258
	84	5	165	43	178	9	106	104	303	2051	43967	27	62	13	4942	268
	среднее $\bar{x}$		144	30	162	8	103	78	296	1816	41170	26	61	16	4740	260
	$S_x$		7	5	28	1,5	9	10	8	89	1257	0,6	0,8	1,8	93	9
	V, %		10	34	39	44	19	29	6	11	7	5	3	25	4	8
	<b>85</b>	6	98	27	157	нпо	75	152	281	1238	35894	22	48	14	4391	286
Егошиха	90	7	318	53	513	4	291	113	266	836	37313	20	46	9	3564	204
	91	8	209	43	239	4	212	129	266	1022	39780	18	40	24	3786	169
	92	9	186	37	212	9	219	105	265	1014	37522	20	38	9	3265	167
	93	10	241	45	192	нпо	216	100	273	1207	41017	20	42	15	3582	167
	94	11	248	31	198	нпо	209	115	284	882	35789	16	38	18	3408	196
	среднее $\bar{x}$		240	42	271	6	229	112	271	992	38284	19	41	15	3521	181
	$S_x$		23	4	61	1,7	16	5	3,6	65	934	0,8	1,5	2,8	88	8
	V, %		21	20	50	55	15	10	3	15	5	10	8	43	6	10
	<b>95</b>	12	288	57	424	9	167	89	287	4466	54145	27	60	нпо	4858	221
Данилиха	100	13	173	48	253	нпо	155	67	250	581	21851	12	37	7	2191	104
	101	14	372	47	239	13	280	209	248	1401	50027	20	52	15	4241	170
	102	15	431	66	226	9	259	189	275	1548	50768	24	53	12	3792	174
	103	16	436	68	185	6	244	220	252	1478	49454	22	48	15	4013	162
	104	17	414	68	178	9	263	199	258	1687	51195	23	46	7	3876	164
	среднее $\bar{x}$		365	59	216	9	240	177	257	1339	44659	20	47	11	3623	155
	$S_x$		49	5	15	1,4	22	28	4,9	195	5710	2,2	2,9	1,8	366	13
	V, %		30	18	15	47	21	35	4	33	29	24	14	36	22	19
	<b>105</b>	18	469	87	424	8	515	361	214	1734	53145	18	30	12	3055	81
Ласьва	120	19	629	20	75	8	63	43	407	4110	41374	23	69	17	3732	151
	121	20	599	18	68	10	70	43	336	4420	46078	22	73	13	4379	152
	122	21	554	18	75	5	63	43	323	4288	44750	23	72	4	4534	140
	123	22	814	20	75	10	70	60	283	3429	47623	22	76	нпо	4594	150
	124	23	94	20	96	нпо	66	45	243	828	43701	29	69	28	4882	288
	среднее $\bar{x}$		538	19	78	8	66	47	318	3415	44705	24	72	16	4424	176
	$S_x$		120	1	5	1	2	3	27	669	1060	1	1	13	191	28
	V, %		50	6	14	43	5	16	19	44	5	12	4	79	10	36
	V, % среднее		62	48	58	46	64	66	14	63	17	18	24	48	17	30

Примечание:  $S_x$  – стандартная ошибка; V, % – коэффициент вариации; нпо - ниже предела обнаружения. Концентрация химических элементов в образцах 1, 7, 13, 19 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Окончание таблицы 1

пойма реки	разрез №	образец №	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	ППП, %	
Ива	80	1	10969	62925	299057	619	1004	14467	28185	9,82	
	81	2	6766	57270	287481	218	1200	14309	36465	но	
	82	3	6796	56058	282507	467	1092	14658	36079	но	
	83	4	5379	58962	295046	432	928	15081	34785	но	
	84	5	7616	63200	282390	785	948	15031	37130	но	
	<i>среднее x</i>			7505	59683	289296	504	1034	14709	34529	но
	<i>Sx</i>			938	1455	3357	95	50	152	1631	но
	<i>V, %</i>			28	6	3	42	11	2	11	но
Егошиха	<b>85</b>	6	8961	63046	296601	454	792	13629	22072	2,23	
	90	7	35052	67939	273615	2616	4168	11097	44966	7,32	
	91	8	6338	45515	264201	750	1672	10973	48062	но	
	92	9	11614	48176	274914	1600	1864	11014	47984	но	
	93	10	14647	45431	257924	637	2200	10624	53961	но	
	94	11	5813	42712	283446	510	1560	11305	45767	но	
	<i>среднее x</i>			14693	49955	270820	1223	2293	11003	48148	но
	<i>Sx</i>			5351	4578	4439	397	481	111	1575	но
<i>V, %</i>			82	21	4	73	47	2	7	но	
Данилиха	<b>95</b>	12	3847	53953	243853	2041	1104	12915	43858	6,73	
	100	13	15600	38844	357428	833	1972	8600	24868	4,69	
	101	14	15407	52244	249406	2106	2424	12990	64736	но	
	102	15	6452	46970	242807	702	2136	11994	71393	но	
	103	16	3033	45600	233299	183	1896	12533	73903	но	
	104	17	8110	47060	242779	1753	2072	11853	75240	но	
	<i>среднее x</i>			9720	46144	265144	1115	2100	11594	62028	но
	<i>Sx</i>			2499	2149	23213	354	91	775	9464	но
<i>V, %</i>			58	11	20	71	10	15	34	но	
Ласьва	<b>105</b>	18	46021	30957	203435	297	1688	7395	78207	17,73	
	120	19	6368	44838	208460	3423	1416	13255	94294	22,73	
	121	20	1755	46875	215647	1099	1264	13015	74625	но	
	122	21	5246	46621	216824	1452	1368	12898	70871	но	
	123	22	4113	49440	221092	1090	1428	13131	59753	но	
	124	23	9292	67485	298773	393	572	15588	12699	но	
	<i>среднее x</i>			5355	51052	232159	1491	1210	13577	62448	но
	<i>Sx</i>			1393	4666	18757	573	181	566	15239	но
<i>V, %</i>			52	18	16	77	30	8	49	но	
<i>V, % среднее</i>			96	18	14	79	47	16	41	но	

Примечание: *Sx* – стандартная ошибка; *V, %* – коэффициент вариации; *но* – не определяли. Концентрация химических элементов в образцах 1, 7, 13, 19 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Таблица 2

Валовой химический состав поверхностных горизонтов почв пойм  
малых рек города Перми, мг/кг

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	
Ива	80	24	115	27	219	нпо	89	70	267	1176	36823	20	59	7	4558	281	
	81	25	172	29	116	нпо	74	91	266	1509	40283	28	60	13	4870	263	
	82	26	134	22	144	нпо	71	59	294	921	39934	28	62	17	4636	298	
	83	27	160	43	116	нпо	6	94	86	280	1409	42660	26	60	22	4786	259
	84	28	179	36	137	нпо	11	109	95	282	1463	44184	28	66	18	4906	270
	среднее x		152	31	146	9	87	80	278	1296	40777	26	62	16	4751	274	
	Sx		12	4	19	1,7	7	7	5,2	110	1260	1,5	1,2	2,5	67	7	
	V, %		18	26	29	59	18	19	4	19	7	13	5	37	3	6	
<b>85</b>	29	115	21	150	5	53	85	251	1440	37613	22	55	16	5229	292		
Егошиха	90	30	458	38	527	нпо	338	99	286	859	35495	20	42	6	4109	230	
	91	31	256	45	287	нпо	180	107	265	1153	40780	20	40	13	3792	193	
	92	32	292	51	246	нпо	9	177	129	272	1356	16	44	18	3983	186	
	93	33	240	54	226	нпо	8	212	123	268	1006	20	44	7	3612	176	
	94	34	251	60	192	нпо	7	195	143	278	1540	19	47	10	4223	202	
	среднее x		299	50	296	8	220	120	274	1183	41143	19	44	11	3944	198	
	Sx		41	4	60	0,6	30	8	3,7	121	1631	0,8	1,2	2,2	110	9	
	V, %		30	17	45	47	31	15	3	23	9	9	6	45	6	11	
<b>95</b>	35	86	17	75	нпо	65	56	298	1927	40402	26	54	12	4433	215		
Данилиха	100	36	349	90	629	нпо	262	121	267	573	36027	17	55	17	4510	241	
	101	37	132	26	68	нпо	6	61	64	247	751	14	41	13	2965	138	
	102	38	143	30	116	нпо	6	57	73	244	813	16	38	10	3139	129	
	103	39	118	24	96	нпо	7	59	59	261	851	16	39	14	3145	148	
	104	40	99	20	89	нпо	7	38	48	245	774	16	40	11	3492	147	
	среднее x		168	38	200	7	95	73	253	753	27740	16	43	13	3450	161	
	Sx		46	13	108	0,3	42	13	4,7	48	2156	0,5	3,2	1,2	279	20	
	V, %		61	77	121	28	98	39	4	14	17	7	17	21	18	28	
<b>105</b>	41	138	31	144	нпо	4	115	54	214	782	34964	25	62	26	4696	286	
Верхняя Мулянка	110	42	102	23	55	нпо	4	81	56	294	828	39494	24	52	4	4259	299
	111	43	109	25	82	нпо	79	54	325	2276	43498	22	61	7	4576	237	
	среднее x		106	24	69	4	80	55	310	1552	41496	23	57	6	4418	268	
	Sx		3,5	1	13,5	0,5	1	1	15,5	726,2	2008,0	1	4,5	1,5	159,0	31,1	
V, %		5	6	28	20	2	3	7	66	7	6	11	39	5	16		
Ласьва	120	44	69	16	103	нпо	4	50	23	217	820	39298	26	67	4	4954	267
	121	45	549	20	96	нпо	7	85	68	335	3947	45281	25	72	12	4217	160
	122	46	78	10	82	нпо	6	61	60	251	789	41318	28	68	16	4822	252
	123	47	79	16	75	нпо	7	71	51	232	828	43625	29	64	14	5289	267
	124	48	95	15	116	нпо	79	61	245	751	42989	28	71	17	4984	286	
	среднее x		174	15	94	6	69	53	256	1427	42502	27	68	13	4853	246	
	Sx		94	2	7	1	6	8	21	630	1022	1	1	2,3	176	22	
	V, %		121	23	17	34	20	33	18	99	5	6	5	41	8	20	
V, % среднее		67	23	17	34	20	33	18	99	5	6	5	41	8	20		

Примечание: Sx – стандартная ошибка; V, % – коэффициент вариации; нпо - ниже предела обнаружения. Концентрация химических элементов в образцах 24, 30, 36, 42, 44 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Окончание таблицы 2

пойма реки	разрез №	образец №	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	ППП, %	
Ива	80	24	12374	67363	311690	392	468	14982	26005	6,59	
	81	25	11753	59179	286229	563	712	14235	26934	но	
	82	26	6615	66109	303092	297	544	14965	27957	но	
	83	27	8129	57307	282657	628	720	14293	26798	но	
	84	28	7803	63559	296312	720	996	15355	30445	но	
	среднее $\bar{x}$			9335	62703	295996	520	688	14766	27628	но
	$S_x$			1147	1944	5339	77	91	217	770	но
	V, %			28	7	4	33	30	3	6	но
Егошиха	<b>85</b>	29	11813	65258	302364	480	624	13994	11454	3,15	
	90	30	7465	61914	326900	872	876	13396	27427	5,23	
	91	31	9594	50900	275642	161	1160	12558	42385	но	
	92	32	7634	51990	264817	1980	1200	12209	42972	но	
	93	33	6374	51318	274330	480	1108	12467	42457	но	
	94	34	16782	47208	258466	1103	1184	12085	46261	но	
	среднее $\bar{x}$			9570	52666	280031	919	1106	12543	40300	но
	$S_x$			1876	2457	12135	311	59	230	3297	но
V, %			44	11	10	76	12	4	18	но	
Данилиха	<b>95</b>	35	5572	60269	278972	929	1084	13753	20149	2,97	
	100	36	9497	64834	312026	1596	1204	13911	28614	6,92	
	101	37	4263	44378	284828	331	1164	11222	28908	но	
	102	38	3292	41780	263000	нпо	1516	10956	38817	но	
	103	39	1345	45208	281256	658	1276	10998	30945	но	
	104	40	6699	44981	285379	650	1328	11189	27156	но	
	среднее $\bar{x}$			5019	48236	285298	809	1298	11655	30888	но
	$S_x$			1413	4194	7836	244	62	566	2072	но
V, %			63	19	6	68	11	11	15	но	
Верхняя Мулянка	<b>105</b>	41	8689	59952	302383	406	868	14907	15437	2,21	
	110	42	11777	67590	312661	2206	1104	13620	36000	но	
	111	43	10890	61226	300337	942	728	12417	29115	но	
	среднее $\bar{x}$			11334	64408	306499	1574	916	13019	32558	но
	$S_x$			444,6	3191,4	6180,4	633,9	188,5	603,3	3452,7	но
V, %			6	7	3	57	29	7	15	но	
Ласьва	120	44	9600	70579	318415	532	548	15023	12420	6,49	
	121	45	4776	50229	219864	1033	1332	13670	73602	но	
	122	46	4257	66538	301631	750	696	15231	14264	но	
	123	47	6500	69992	303032	419	632	15861	13456	но	
	124	48	6814	71754	300332	292	540	14326	12927	но	
	среднее $\bar{x}$			6389	65818	288655	605	750	14822	25334	но
	$S_x$			1213	5155	22600	169	192	488	15583	но
	V, %			33	14	14	48	44	6	107	но
V, % среднее			33	14	14	48	44	6	107	но	

Примечание:  $S_x$  – стандартная ошибка; V, % – коэффициент вариации; нпо – ниже предела обнаружения; но – не определяли. Концентрация химических элементов в образцах 24, 30, 36, 42, 44 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Таблица 3

Валовой химический состав глеевых горизонтов почв пойм малых рек города  
Перми, мг/кг

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr
Ива	80	49	87	8	192	нпо	60	54	288	604	32070	21	49	11	4163	257
	81	50	82	44	130	13	47	47	326	604	35404	23	52	13	4690	258
	82	51	91	14	62	6	85	58	318	627	36341	24	56	13	4457	283
	83	52	75	20	123	4	52	62	326	526	34482	24	51	29	4169	275
	84	53	89	22	89	нпо	76	56	312	751	36956	25	60	19	4247	252
	<i>среднее x</i>		85	22	119	8	64	55	314	623	3505	24	54	17	4345	265
	<i>Sx</i>		3	6	22	2,7	7	3	7,0	36	855	0,7	2,0	3,3	101	6
<i>V, %</i>		8	63	41	73	25	10	5	13	5	7	8	43	5	5	
Егошиха	90	54	376	16	417	11	312	88	281	635	37376	24	52	13	4600	263
	91	55	295	56	260	5	213	94	285	410	37648	23	50	19	3684	227
	92	56	302	52	239	9	242	98	279	426	38340	21	46	16	3917	204
	93	57	323	62	246	7	268	146	264	503	41192	24	46	11	4385	223
	94	58	277	49	240	14	208	91	275	480	39305	23	43	9	4043	201
	<i>среднее x</i>		315	47	280	9	249	103	277	491	38772	23	48	14	4126	224
	<i>Sx</i>		17	8	34	1,6	19	11	3,6	40	691	0,5	1,6	1,8	164	11
<i>V, %</i>		12	38	27	38	17	23	3	18	4	5	8	29	9	11	
Данилиха	100	59	401	57	1436	нпо	480	245	278	465	33769	19	46	7	4200	229
	101	60	107	25	75	13	28	46	253	689	24185	17	40	16	3163	155
	102	61	107	33	96	8	34	43	254	1022	24521	15	44	14	3241	151
	103	62	129	39	89	4	59	41	252	983	27855	18	49	12	3588	214
	104	63	137	39	137	7	57	42	247	968	28624	16	48	8	3211	171
	<i>среднее x</i>		176	39	367	8	132	83	257	826	27791	17	46	12	3481	184
	<i>Sx</i>		57	5	268	1,9	87	40	5,4	108	1734	0,7	1,6	1,7	195	16
<i>V, %</i>		72	31	163	56	148	108	5	29	14	9	8	34	13	19	
Верхняя Мулянка	110	64	141	20	75	нпо	63	65	282	1068	40871	23	56	16	4307	229
	111	65	144	16	62	9	77	53	275	805	36082	25	55	12	4037	282
	<i>среднее x</i>		143	18	69	9	70	59	279	937	38477	24	56	14	4172	256
	<i>Sx</i>		1,5	2	6,5	3	7	6	3,5	132	2401,6	1	0,5	2	135,4	26,6
	<i>V, %</i>		1	16	13	71	14	14	2	20	9	6	1	20	5	15
<i>V, % среднее</i>		61	52	139	53	92	65	9	32	15	15	11	37	12	18	

Примечание: *Sx* – стандартная ошибка; *V, %* – коэффициент вариации; нпо - ниже предела обнаружения; но – не определяли. Концентрация химических элементов в образцах 49, 54, 59, 64 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Окончание таблицы 3

пойма реки	разрез №	образец №	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	ППП, %
Ива	80	49	9473	70992	332878	92	1928	14425	22694	2,91
	81	50	9600	62792	307431	345	548	14417	20063	но
	82	51	7091	60385	301528	619	504	13753	21128	но
	83	52	6205	64300	310985	379	392	14434	21665	но
	84	53	5023	66755	291693	нпо	476	14260	22794	но
	<i>среднее x</i>		7478	65045	308903	359	770	14258	21669	но
	<i>Sx</i>		902	1812	6826	96	291	130	509	но
	<i>V, %</i>		27	6	5	60	84	2	5	но
Егошиха	90	54	10251	67966	313455	1282	648	14475	26455	6,15
	91	55	7471	54291	279313	1352	6864	12666	36336	но
	92	56	8617	55233	278271	907	8132	12068	37194	но
	93	57	12205	52815	268973	506	6356	12923	38903	но
	94	58	10082	57746	274269	724	9652	12384	41306	но
	<i>среднее x</i>		9725	57610	282856	954	6331	12903	36039	но
	<i>Sx</i>		802	2710	7863	162	1531	418	2542	но
	<i>V, %</i>		19	11	6	38	54	7	16	но
Данилиха	100	59	5560	58322	305199	3104	10672	13413	32254	7,36
	101	60	7085	51160	31826	292	2760	12575	16352	но
	102	61	8599	50345	298988	863	2464	11761	16974	но
	103	62	2093	55376	294985	772	2544	12799	18340	но
	104	63	4933	52059	303130	567	2348	12757	18712	но
	<i>среднее x</i>		5654	53452	246826	1120	4158	12661	20526	но
	<i>Sx</i>		1094	1488	53779	506	1630	266	2964	но
	<i>V, %</i>		43	6	49	101	88	5	32	но
Верхняя Мулянка	110	64	9823	68601	302845	2406	3452	13463	34835	но
	111	65	9738	67659	317686	693	1668	13620	32561	но
	<i>среднее x</i>		9781	68130	310266	1550	2560	13542	33698	но
	<i>Sx</i>		42,6	472,4	7442,6	859,1	894,7	78,7	1140,4	но
	<i>V, %</i>		1	1	3	78	49	1	5	но
<i>V, % среднее</i>			32	12	24	85	94	7	32	но

Примечание: *Sx* – стандартная ошибка; *V, %* – коэффициент вариации; нпо - ниже предела обнаружения; но – не определяли. Концентрация химических элементов в образцах 49, 54, 59, 64 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Таблица 4

Валовой химический состав глееватых слоёв аллювия почв пойм малых рек  
города Перми, мг/кг

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr
Ива	80	66	89	6	185	7	60	53	301	712	31581	18	50	10	4115	231
	<b>85</b>	67	67	11	192	6	70	70	309	828	38536	22	46	13	5331	246
Егошиха	90	68	343	46	458	нпо	280	123	266	565	37145	22	64	10	4750	262
	<b>95</b>	69	82	12	130	9	53	29	317	1533	39682	23	52	23	4768	243
Данилиха	<b>105</b>	70	67	15	109	4	52	34	216	472	33412	25	65	8	5145	323
Верхняя Мулянка	110	71	114	21	75	7	63	70	279	813	39885	26	54	18	3732	242
	111	72	114	12	75	8	79	54	298	1146	38620	24	52	9	4199	301
Ласьва	120	73	137	94	109	13	59	36	269	1099	41080	29	64	17	4852	295
	121	74	164	122	55	11	37	36	305	1084	40913	30	53	18	4978	256
	122	75	183	196	75	23	97	53	324	1324	44687	28	65	11	4433	251
	123	76	182	120	34	17	58	45	311	1393	44093	32	64	13	5613	248
	124	77	154	177	69	нпо	50	49	337	1331	44184	28	64	21	4582	231
	120	78	76	16	96	нпо	51	39	228	789	38885	25	59	13	4936	307
	120	79	61	11	212	7	56	46	253	689	37935	27	53	13	4870	418
120	80	62	16	75	нпо	40	25	234	697	36152	29	61	16	4978	412	
<i>среднее x</i>			126	58	130	8	74	51	283	965	39119	26	58	14	4752	284
<i>Sx</i>			19,2	17	27	1,5	15,2	6,2	9,6	85,2	960,6	1	1,7	1,2	125	15,6
<i>V, % среднее</i>			59	113	81	70	80	47	13	34	10	14	11	32	10	21

Окончание таблицы 4

пойма реки	разрез №	образец №	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	ППП, %
Ива	80	66	8810	68770	339364	467	2448	13853	23366	1,86
	<b>85</b>	67	4468	70389	305680	275	496	14284	13349	2,67
Егошиха	90	68	9238	69553	301939	741	1312	15421	20256	9,22
	<b>95</b>	69	3335	60846	277534	нпо	568	12467	19212	2,10
Данилиха	<b>105</b>	70	8635	66067	329655	92	396	16144	10289	1,96
Верхняя Мулянка	110	71	12934	64760	299604	1666	1616	13728	36251	но
	111	72	9678	69013	319157	1138	960	13139	33133	но
Ласьва	120	73	9407	70293	313474	1539	444	14741	23561	5,64
	121	74	3865	60179	276497	1556	480	14284	26927	но
	122	75	2460	55048	256131	1936	732	13654	37073	но
	123	76	4631	65268	280765	829	512	15106	28965	но
	124	77	1158	52879	264925	1600	448	12865	32811	но
	120	78	9509	72283	335689	658	820	14625	12834	2,46
	120	79	6362	67490	348377	680	460	13720	12062	1,61
120	80	7761	70336	347191	506	452	14010	13120	1,17	
<i>среднее x</i>			6817	65545	306399	977	810	14140	22878	но
<i>Sx</i>			862,4	1511,6	7820	151,8	149	251,2	2413	но
<i>V, % среднее</i>			49	9	10	60	71	7	41	но

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения; но – не определяли. Концентрация химических элементов в образцах 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

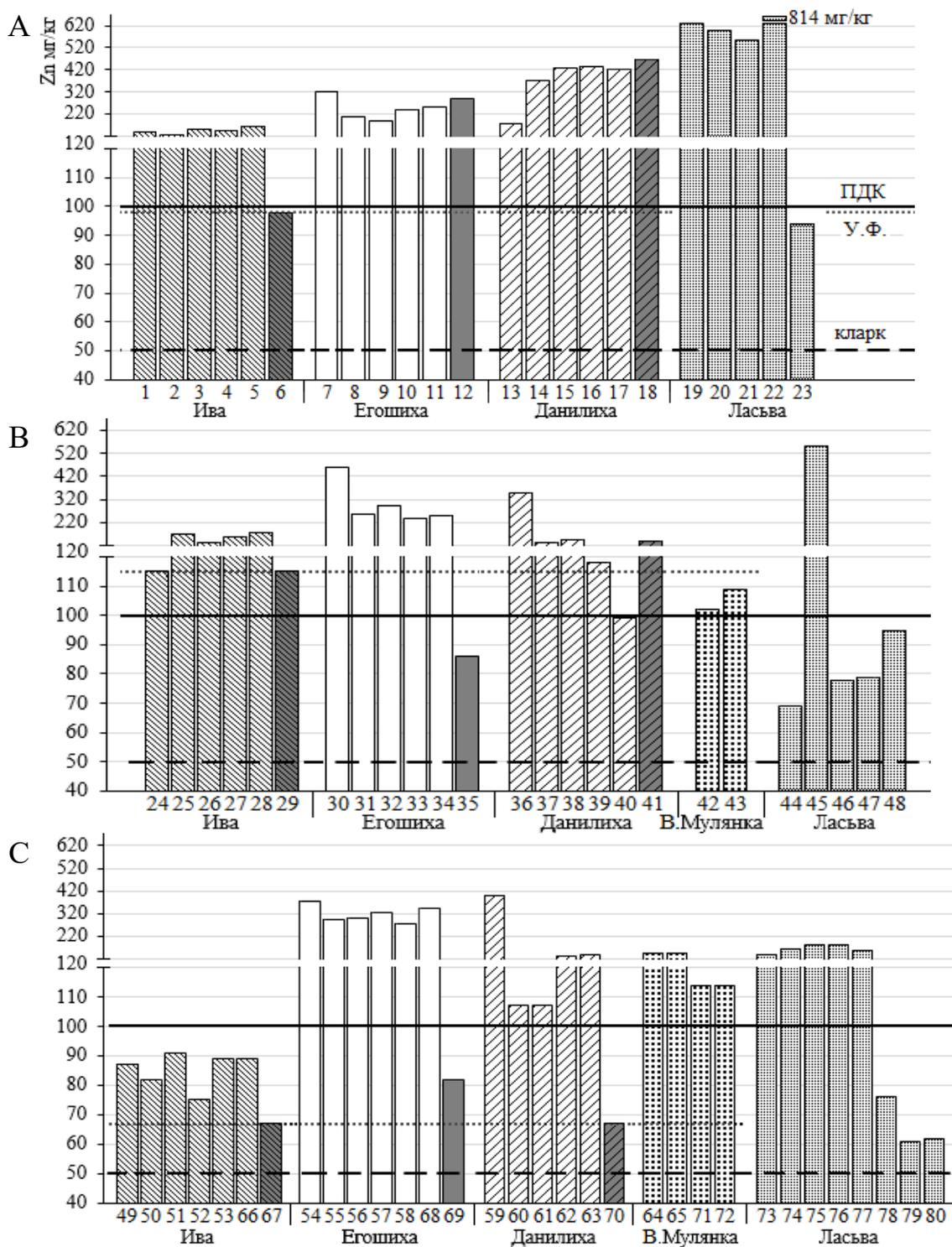


Рисунок 1. Валовое содержание цинка в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А) наилки, В) гумусовые горизонты, С) глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация Zn в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

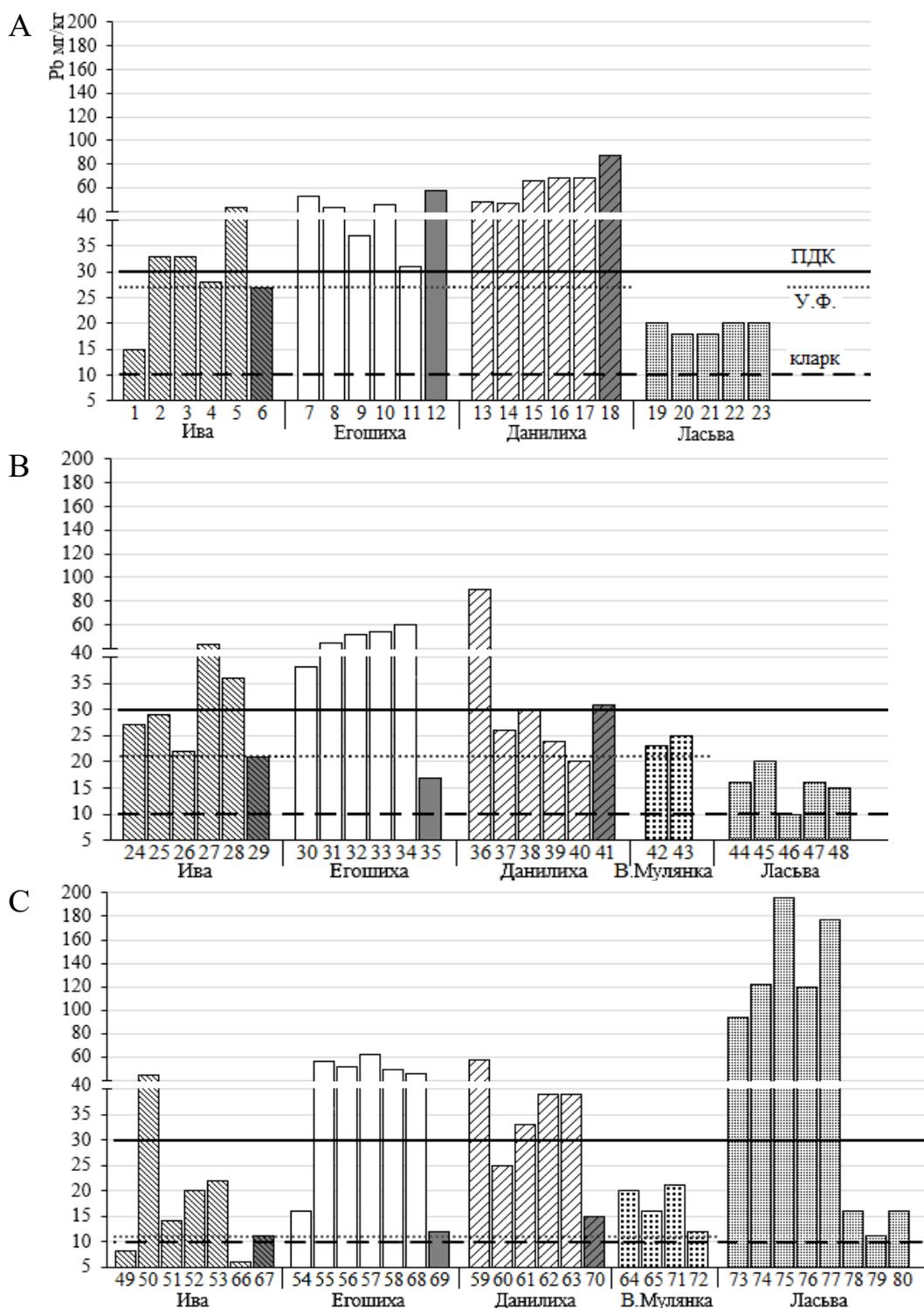


Рисунок 2. Валовое содержание свинца в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А - наилки, В - поверхностные горизонты, С - глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация Pb в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

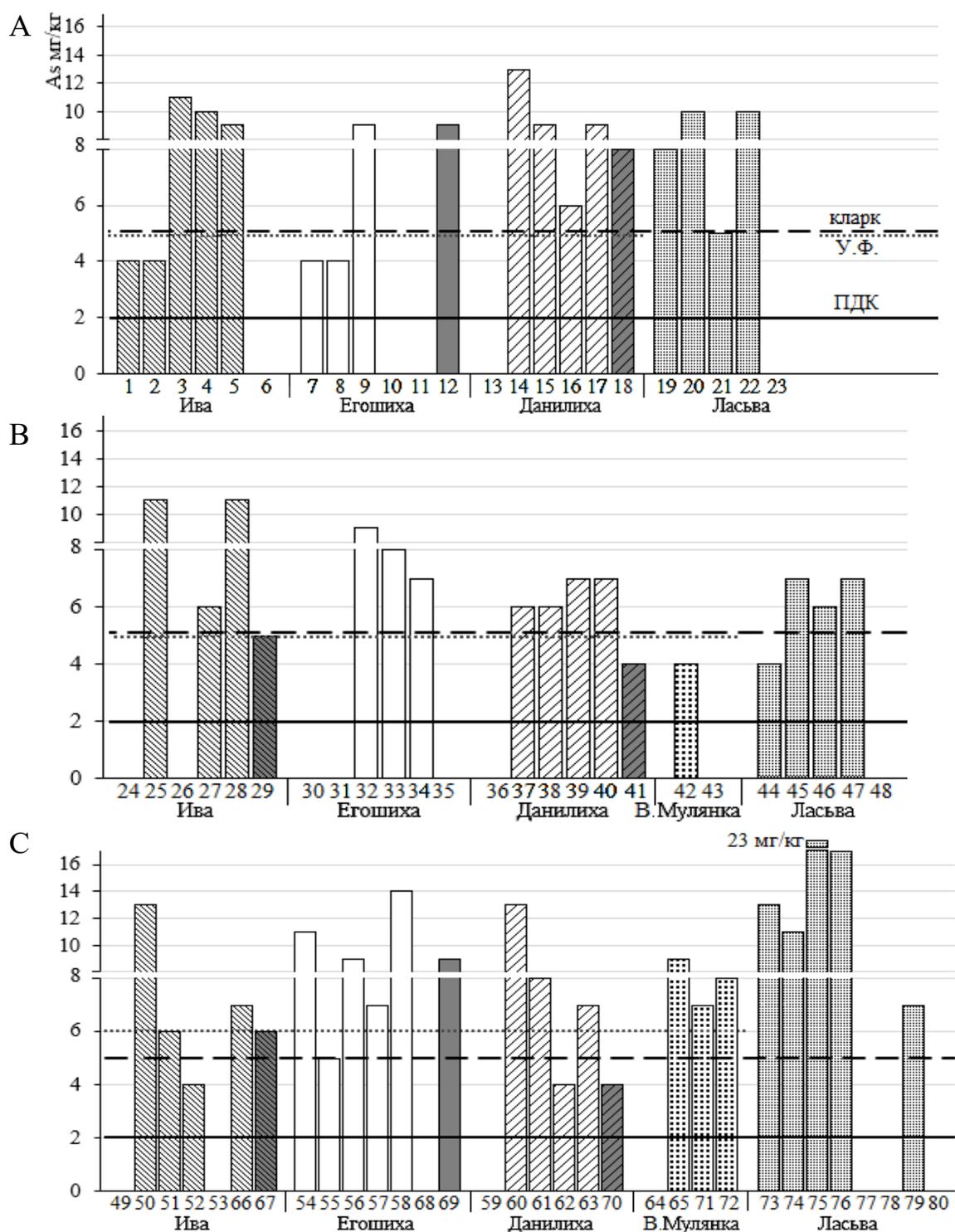


Рисунок 3. Валовое содержание мышьяка в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: в образцах 6, 10, 11, 13, 23, 24, 26, 30, 31, 35, 36, 43, 48, 49, 53, 61, 68, 59, 64, 77, 78, 80 содержание мышьяка ниже предела обнаружения; А - наилки, В - поверхностные горизонты, С - глеевые горизонты и глееватые слои аллювия; 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация As в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

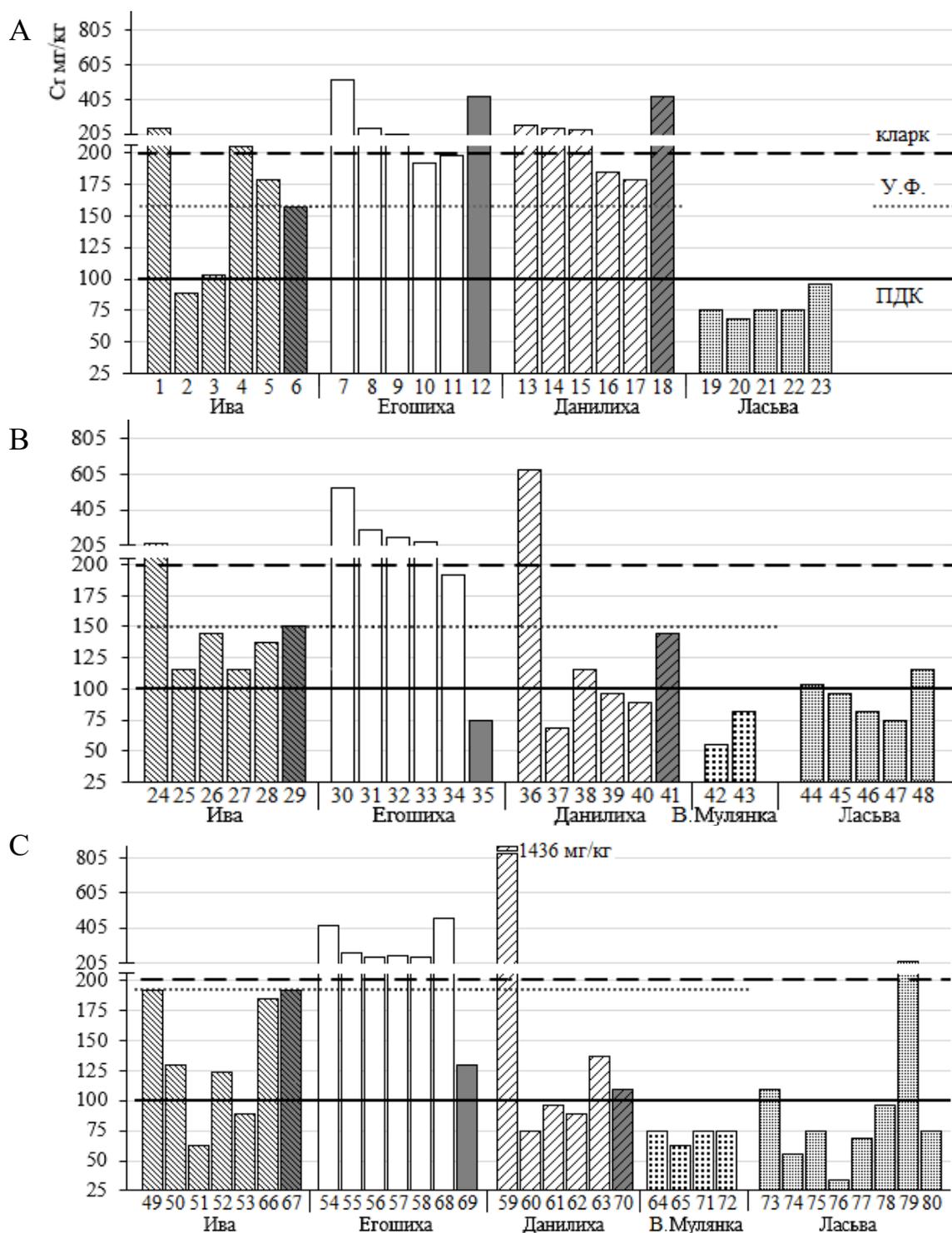


Рисунок 4. Валовое содержание хрома в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А - наилки, В - поверхностные горизонты, С - глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация Cr в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

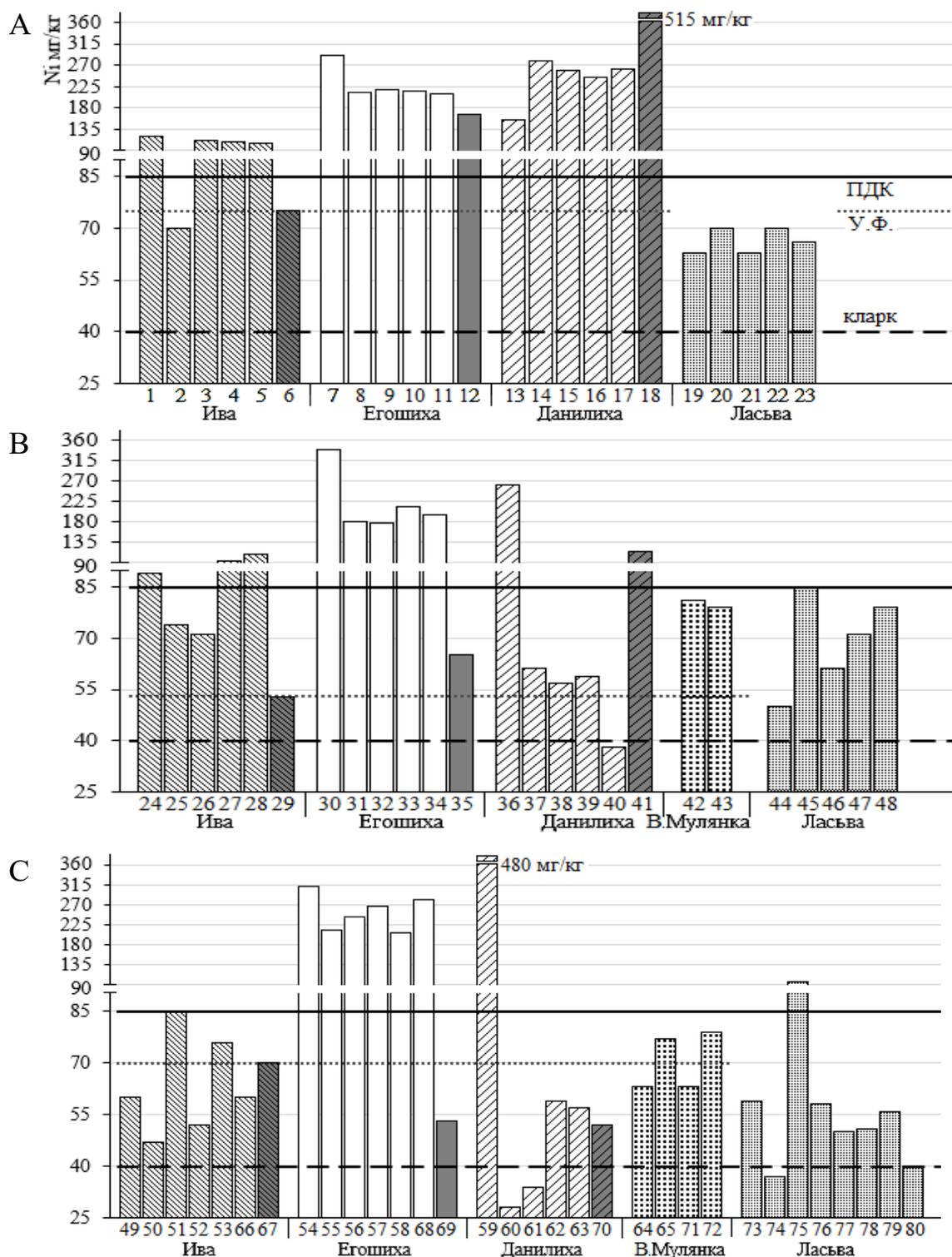


Рисунок 5. Валовое содержание никеля в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А - наилки, В - поверхностные горизонты, С - глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация Ni в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

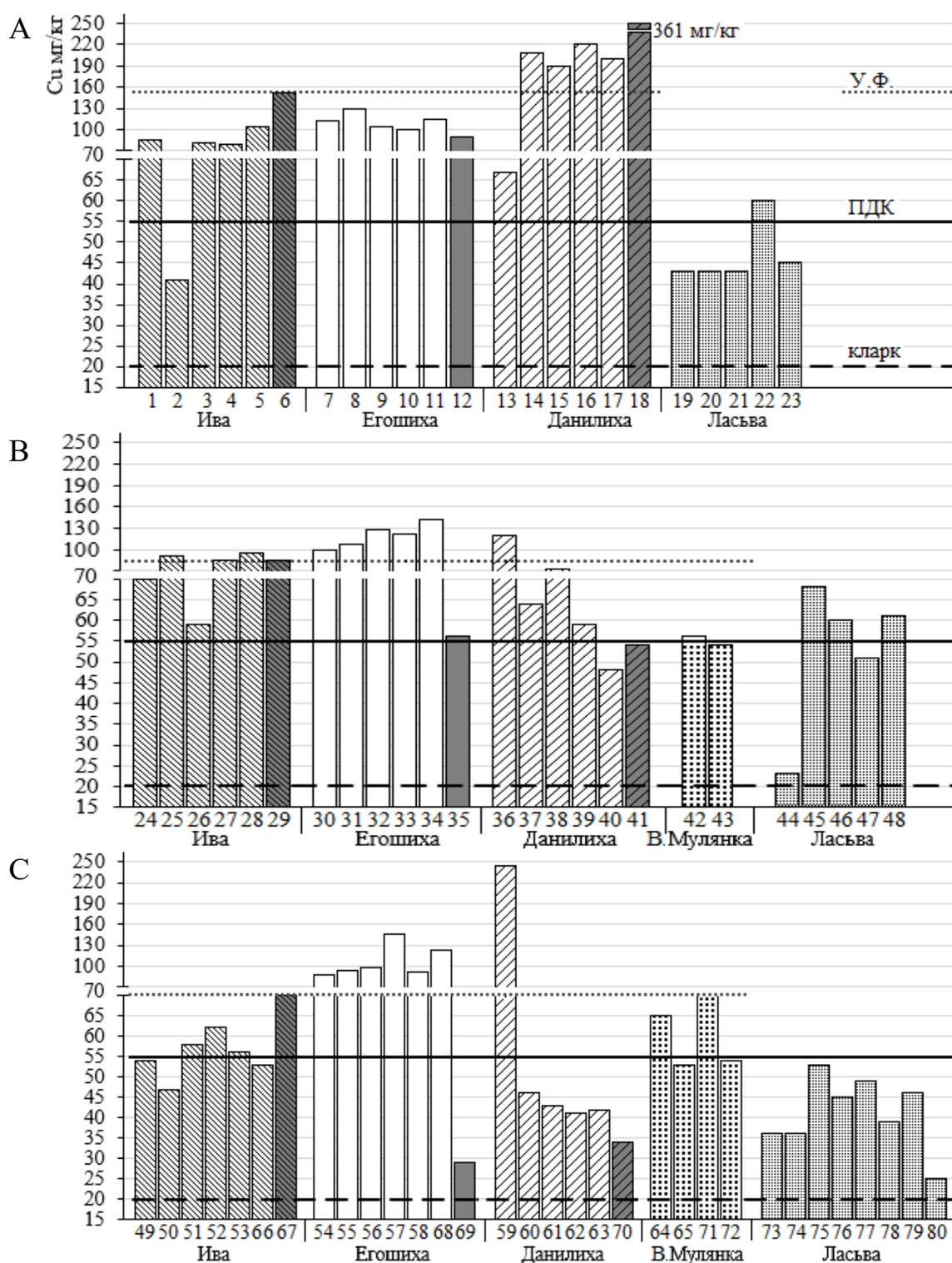


Рисунок 6. Валовое содержание меди в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А - наилки, В - поверхностные горизонты, С - глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация Cu в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

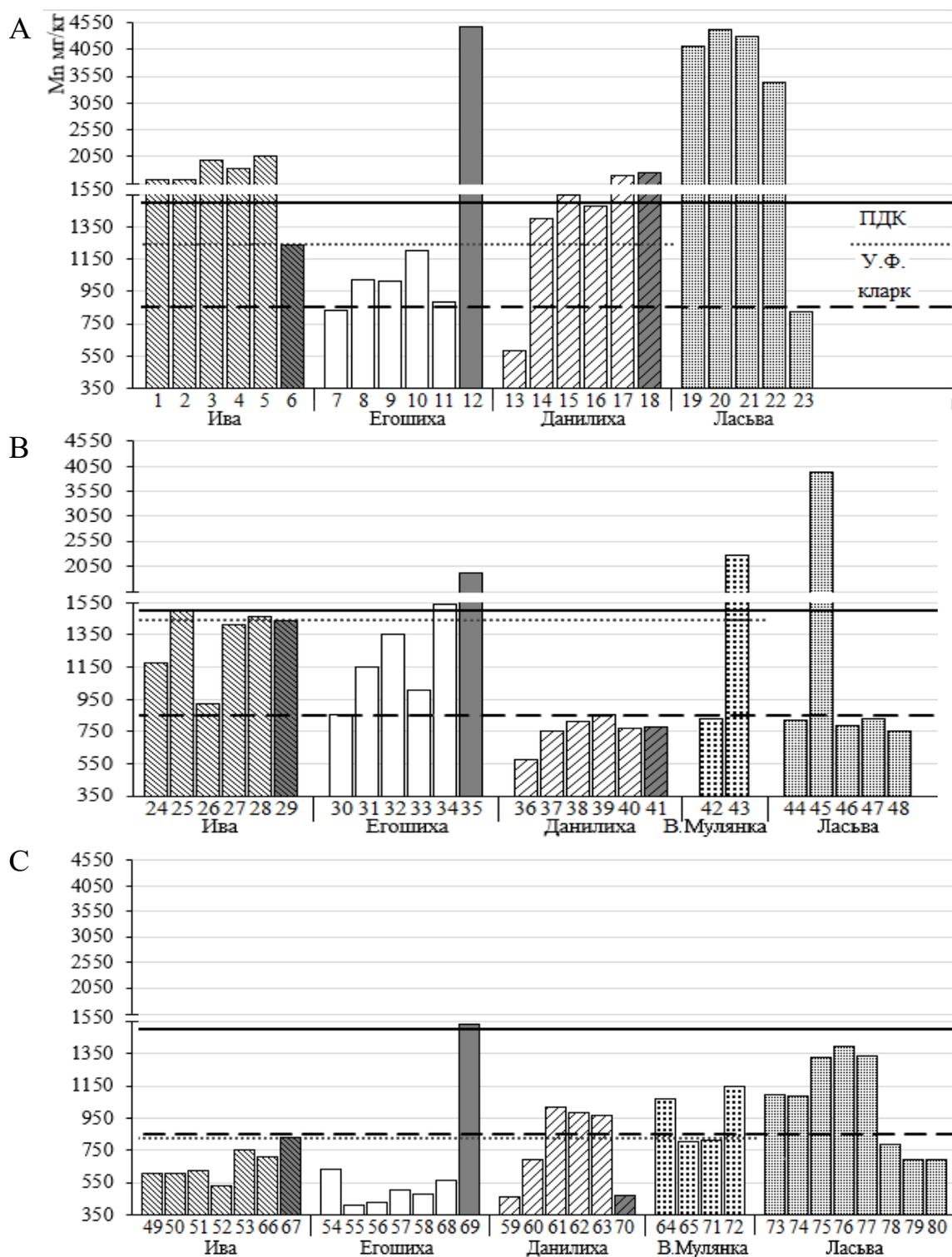


Рисунок 7. Валовое содержание марганца в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А - наилки, В - поверхностные горизонты, С - глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация Mn в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

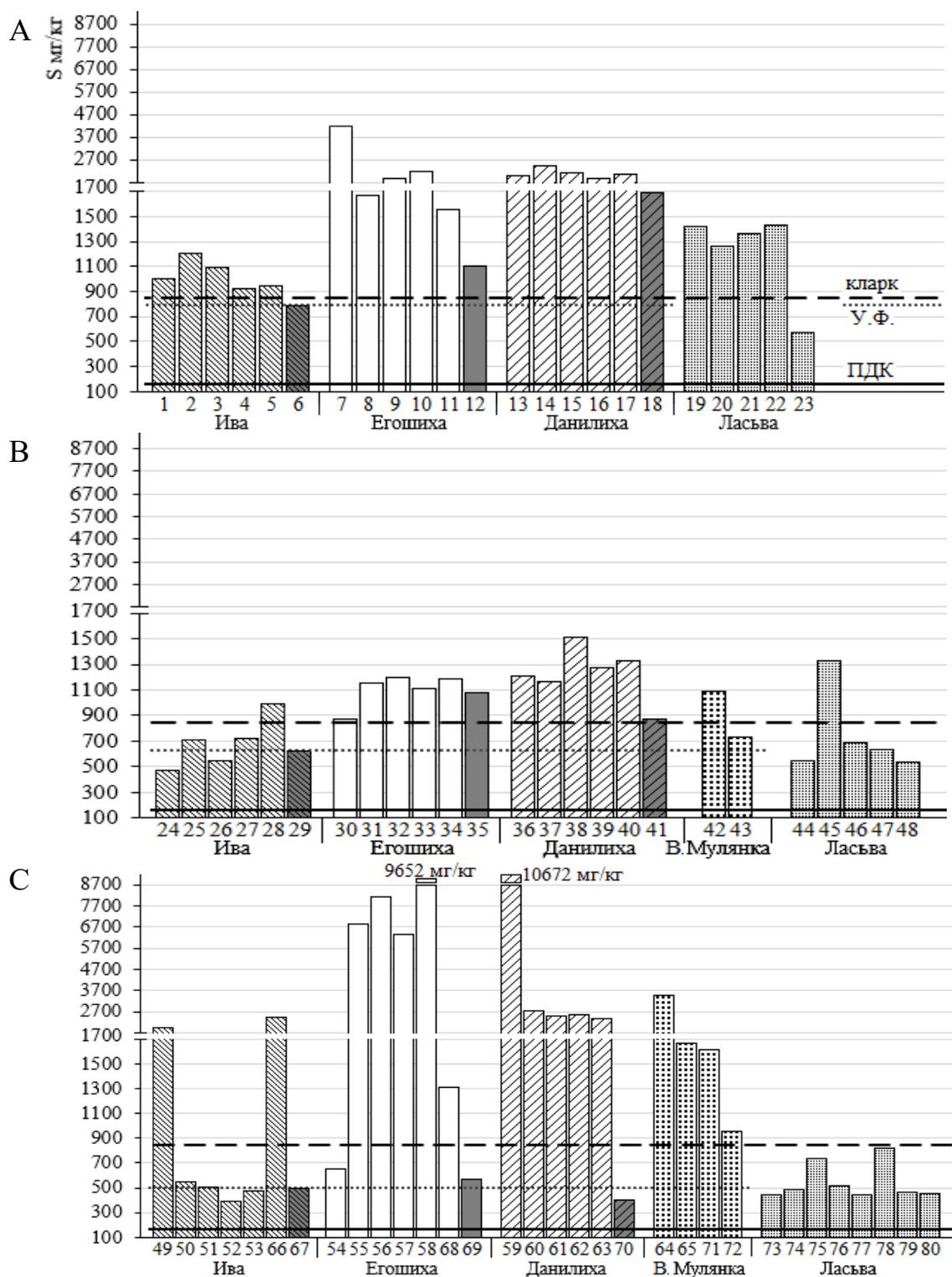


Рисунок 8. Валовое содержание серы в наилках и почвах пойм малых рек г. Перми. Примечание: А) наилки, В) поверхностные горизонты, С) глеевые горизонты и глееватые слои аллювия. 1–80 – номера образцов почв (приложение 1, таблица 1). Концентрация S в образцах 1, 7, 13, 19, 24, 30, 36, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80 приведена по данным Водяницкого, Васильева, Власова [48].

Продолжение приложения 6

Таблица 5

Коэффициенты превышения химическими элементами кларков К<sub>к</sub> в наилках пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Кларк*	50	10	200	5	40	20	300	850	38000	50	100	30	4600	300	6300	71300	330000	800	850	13600
Ива	80	1	2,8	1,5	1,2	0,8	3,0	4,3	0,9	1,9	1,0	0,5	0,6	0,3	1,0	0,8	1,7	0,9	0,9	0,8	1,2	1,1	2,1
	81	2	2,5	3,3	0,5	0,8	1,8	2,1	1,0	1,9	1,0	0,5	0,6	0,6	1,1	0,9	1,1	0,8	0,9	0,3	1,4	1,1	2,7
	82	3	3,0	3,3	0,5	2,2	2,8	4,1	1,0	2,3	1,1	0,6	0,6	0,5	1,0	0,9	1,1	0,8	0,9	0,6	1,3	1,1	2,6
	83	4	2,9	2,8	1,0	2,0	2,8	4,0	1,0	2,1	1,1	0,5	0,6	0,6	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,5	1,1	1,1	2,5
	84	5	3,3	4,3	0,9	1,8	2,7	5,2	1,0	2,4	1,2	0,5	0,6	0,4	1,1	0,9	1,2	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	2,7
	среднее		2,9	3,0	0,8	1,5	2,6	3,9	1,0	2,1	1,1	0,5	0,6	0,5	1,0	0,9	1,2	0,8	0,9	0,6	1,2	1,1	2,5
	85	6	2,0	2,7	0,8	нпо	1,9	7,6	0,9	1,5	0,9	0,4	0,5	0,5	1,0	1,0	1,4	0,9	0,9	0,6	0,9	1,0	1,6
Егошиха	90	7	6,4	5,3	2,6	0,8	7,3	5,7	0,9	1,0	1,0	0,4	0,5	0,3	0,8	0,7	5,6	1,0	0,8	3,3	4,9	0,8	3,3
	91	8	4,2	4,3	1,2	0,8	5,3	6,5	0,9	1,2	1,0	0,4	0,4	0,8	0,8	0,6	1,0	0,6	0,8	0,9	2,0	0,8	3,5
	92	9	3,7	3,7	1,1	1,8	5,5	5,3	0,9	1,2	1,0	0,4	0,4	0,3	0,7	0,6	1,8	0,7	0,8	2,0	2,2	0,8	3,5
	93	10	4,8	4,5	1,0	нпо	5,4	5,0	0,9	1,4	1,1	0,4	0,4	0,5	0,8	0,6	2,3	0,6	0,8	0,8	2,6	0,8	3,9
	94	11	5,0	3,1	1,0	нпо	5,2	5,8	0,9	1,0	0,9	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,9	0,6	0,9	0,6	1,8	0,8	3,3
	среднее		4,8	4,2	1,4	1,1	5,7	5,7	0,9	1,2	1,0	0,4	0,4	0,5	0,8	0,6	2,3	0,7	0,8	1,5	2,7	0,8	3,5
	95	12	5,8	5,7	2,1	1,8	4,2	4,5	1,0	5,3	1,4	0,5	0,6	нпо	1,1	0,7	0,6	0,8	0,7	2,6	1,3	0,9	3,2
Данилиха	100	13	3,5	4,8	1,3	нпо	3,9	3,4	0,8	0,7	0,6	0,2	0,4	0,2	0,5	0,3	2,5	0,5	1,1	1,0	2,3	0,6	1,8
	101	14	7,4	4,7	1,2	2,6	7,0	10,5	0,8	1,6	1,3	0,4	0,5	0,5	0,9	0,6	2,4	0,7	0,8	2,6	2,9	1,0	4,7
	102	15	8,6	6,6	1,1	1,8	6,5	9,5	0,9	1,8	1,3	0,5	0,5	0,4	0,8	0,6	1,0	0,7	0,7	0,9	2,5	0,9	5,2
	103	16	8,7	6,8	0,9	1,2	6,1	11,0	0,8	1,7	1,3	0,4	0,5	0,5	0,9	0,5	0,5	0,6	0,7	0,2	2,2	0,9	5,4
	104	17	8,3	6,8	0,9	1,8	6,6	10,0	0,9	2,0	1,3	0,5	0,5	0,2	0,8	0,5	1,3	0,7	0,7	2,2	2,4	0,9	5,5
	среднее		7,3	5,9	1,1	1,9	6,0	8,9	0,8	1,6	1,2	0,4	0,5	0,4	0,8	0,5	1,5	0,6	0,8	1,4	2,5	0,9	4,5
	105	18	9,4	8,7	2,1	1,6	12,9	18,1	0,7	2,0	1,4	0,4	0,3	0,4	0,7	0,3	7,3	0,4	0,6	0,4	2,0	0,5	5,7
Ласва	120	19	12,6	2,0	0,4	1,6	1,6	2,2	1,4	4,8	1,1	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5	1,0	0,6	0,6	4,3	1,7	1,0	6,9
	121	20	12,0	1,8	0,3	2,0	1,8	2,2	1,1	5,2	1,2	0,4	0,7	0,4	1,0	0,5	0,3	0,7	0,7	1,4	1,5	1,0	5,4
	122	21	11,1	1,8	0,4	1,0	1,6	2,2	1,1	5,0	1,2	0,5	0,7	0,1	1,0	0,5	0,8	0,7	0,7	1,8	1,6	0,9	5,2
	123	22	16,3	2,0	0,4	2,0	1,8	3,0	0,9	4,0	1,3	0,4	0,8	нпо	1,0	0,5	0,7	0,7	0,7	1,4	1,7	1,0	4,4
	124	23	1,9	2,0	0,5	нпо	1,7	2,3	0,8	1,0	1,2	0,6	0,7	0,9	1,1	1,0	1,5	0,9	0,9	0,5	0,7	1,1	0,9
	среднее		10,8	1,9	0,4	1,7	1,7	2,4	1,1	4,0	1,2	0,5	0,7	0,5	1,0	0,6	0,9	0,7	0,7	1,9	1,4	1,0	4,6

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения; \* - кларк для почв по Виноградову [35].

Продолжение приложения 6

Таблица 6

Коэффициенты превышения химическими элементами кларков К<sub>к</sub>  
в поверхностных горизонтах почв пойм малых рек города Перми

пойма реки		разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
Кларк*		50	10	200	5	40	20	300	850	38000	50	100	30	4600	300	6300	71300	330000	800	850	13600	13700		
Ива	80	24	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>	<b>1,1</b>	нпо	<b>2,2</b>	<b>3,5</b>	0,9	<b>1,4</b>	1,0	0,4	0,6	0,2	1,0	0,9	<b>2,0</b>	0,9	0,9	0,5	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	
	81	25	<b>3,4</b>	<b>2,9</b>	0,6	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>4,6</b>	0,9	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>	0,6	0,6	0,4	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,9</b>	0,8	0,9	0,7	0,8	1,0	<b>2,0</b>	
	82	26	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	0,7	нпо	<b>1,8</b>	<b>3,0</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	<b>1,1</b>	0,9	0,9	0,4	0,6	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>	
	83	27	<b>3,2</b>	<b>4,3</b>	0,6	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>4,3</b>	0,9	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	0,5	0,6	0,7	1,0	0,9	<b>1,3</b>	0,8	0,9	0,8	0,8	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>	
	84	28	<b>3,6</b>	<b>3,6</b>	0,7	<b>2,2</b>	<b>2,7</b>	<b>4,8</b>	0,9	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	0,6	0,7	0,6	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,2</b>	0,9	0,9	0,9	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>2,2</b>	
	среднее			<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	0,7	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	<b>4,0</b>	0,9	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	0,5	0,6	0,5	1,0	0,9	<b>1,5</b>	0,9	0,9	0,7	0,8	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>
	<b>85</b>	29	<b>2,3</b>	<b>2,1</b>	0,8	1,0	<b>1,3</b>	<b>4,3</b>	0,8	<b>1,7</b>	1,0	0,4	0,6	0,5	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,9</b>	0,9	0,9	0,6	0,7	1,0	0,8	
Егошиха	90	30	<b>9,2</b>	<b>3,8</b>	<b>2,6</b>	нпо	<b>8,5</b>	<b>5,0</b>	0,9	1,0	0,9	0,4	0,4	0,2	0,9	0,8	<b>1,2</b>	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,0	1,0	<b>2,0</b>	
	91	31	<b>5,1</b>	<b>4,5</b>	<b>1,4</b>	нпо	<b>4,5</b>	<b>5,4</b>	0,9	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	0,4	0,4	0,4	0,8	0,6	<b>1,5</b>	0,7	0,8	0,2	<b>1,4</b>	0,9	<b>3,1</b>	
	92	32	<b>5,8</b>	<b>5,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	<b>4,4</b>	<b>6,5</b>	0,9	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	0,3	0,4	0,6	0,9	0,6	<b>1,2</b>	0,7	0,8	<b>2,5</b>	<b>1,4</b>	0,9	<b>3,1</b>	
	93	33	<b>4,8</b>	<b>5,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>5,3</b>	<b>6,2</b>	0,9	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	0,4	0,4	0,2	0,8	0,6	1,0	0,7	0,8	0,6	<b>1,3</b>	0,9	<b>3,1</b>	
	94	34	<b>5,0</b>	<b>6,0</b>	1,0	<b>1,4</b>	<b>4,9</b>	<b>7,2</b>	0,9	<b>1,8</b>	<b>1,2</b>	0,4	0,5	0,3	0,9	0,7	<b>2,7</b>	0,7	0,8	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	0,9	<b>3,4</b>	
	среднее			<b>6,0</b>	<b>5,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>5,5</b>	<b>6,1</b>	0,9	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	0,4	0,4	0,3	0,9	0,7	<b>1,5</b>	0,7	0,8	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	0,9	<b>2,9</b>
	<b>95</b>	35	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	0,4	нпо	<b>1,6</b>	<b>2,8</b>	1,0	<b>2,3</b>	<b>1,1</b>	0,5	0,5	0,4	1,0	0,7	0,9	0,8	0,8	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	1,0	<b>1,5</b>	
Данилиха	100	36	<b>7,0</b>	<b>9,0</b>	<b>3,1</b>	нпо	<b>6,6</b>	<b>6,1</b>	0,9	0,7	0,9	0,3	0,6	0,6	1,0	0,8	<b>1,5</b>	0,9	0,9	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	1,0	<b>2,1</b>	
	101	37	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	0,3	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>3,2</b>	0,8	0,9	0,7	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,7	0,6	0,9	0,4	<b>1,4</b>	0,8	<b>2,1</b>	
	102	38	<b>2,9</b>	<b>3,0</b>	0,6	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>3,7</b>	0,8	1,0	0,7	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	0,5	0,6	0,8	нпо	<b>1,8</b>	0,8	<b>2,8</b>	
	103	39	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>	0,5	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>3,0</b>	0,9	1,0	0,7	0,3	0,4	0,5	0,7	0,5	0,2	0,6	0,9	0,8	<b>1,5</b>	0,8	<b>2,3</b>	
	104	40	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	0,4	<b>1,4</b>	1,0	<b>2,4</b>	0,8	0,9	0,6	0,3	0,4	0,4	0,8	0,5	<b>1,1</b>	0,6	0,9	0,8	<b>1,6</b>	0,8	<b>2,0</b>	
	среднее			<b>3,4</b>	<b>3,8</b>	1,0	<b>1,3</b>	<b>2,4</b>	<b>3,7</b>	0,8	0,9	0,7	0,3	0,4	0,4	0,8	0,5	0,8	0,7	0,9	1,0	1,5	0,8	2,3
	<b>105</b>	41	<b>2,8</b>	<b>3,1</b>	0,7	0,8	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	0,7	0,9	0,9	0,5	0,6	0,9	1,0	1,0	<b>1,4</b>	0,8	0,9	0,5	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	
В. Мулянка	110	42	<b>2,0</b>	<b>2,3</b>	0,3	0,8	<b>2,0</b>	<b>2,8</b>	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,1	0,9	1,0	<b>1,9</b>	0,9	0,9	<b>2,8</b>	<b>1,3</b>	1,0	<b>2,6</b>	
	111	43	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>	0,4	нпо	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>	<b>1,1</b>	<b>2,7</b>	<b>1,1</b>	0,4	0,6	0,2	1,0	0,8	<b>1,7</b>	0,9	0,9	<b>1,2</b>	0,9	0,9	<b>2,1</b>	
	среднее			<b>2,1</b>	<b>2,4</b>	0,4	0,8	<b>2,0</b>	<b>2,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>	0,5	0,6	0,2	1,0	0,9	<b>1,8</b>	0,9	0,9	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>2,4</b>
Ласьява	120	44	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	0,5	0,8	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	0,7	1,0	1,0	0,5	0,7	0,1	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,5</b>	1,0	1,0	0,7	0,6	<b>1,1</b>	0,9	
	121	45	<b>11,0</b>	<b>2,0</b>	0,5	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>	<b>3,4</b>	<b>1,1</b>	<b>4,6</b>	<b>1,2</b>	0,5	0,7	0,4	0,9	0,5	0,8	0,7	0,7	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	1,0	<b>5,4</b>	
	122	46	<b>1,6</b>	1,0	0,4	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>3,0</b>	0,8	0,9	<b>1,1</b>	0,6	0,7	0,5	1,0	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	<b>1,1</b>	1,0	
	123	47	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	0,4	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,6	0,6	0,5	<b>1,1</b>	0,9	1,0	1,0	0,9	0,5	0,7	<b>1,2</b>	1,0	
	124	48	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	0,6	нпо	<b>2,0</b>	<b>3,1</b>	0,8	0,9	<b>1,1</b>	0,6	0,7	0,6	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,1</b>	1,0	0,9	0,4	0,6	<b>1,1</b>	0,9	
	среднее			<b>3,5</b>	<b>1,5</b>	0,5	<b>1,2</b>	<b>1,7</b>	<b>2,7</b>	0,8	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	0,6	0,7	0,4	1,0	0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения; \* - кларк для почв по Виноградову [35].

Продолжение приложения 6

Таблица 7

Коэффициенты превышения химическими элементами кларков  $K_K$  в глеевых горизонтах почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Кларк*	50	10	200	5	40	20	300	850	38000	50	100	30	4600	300	6300	71300	330000	800	850	13600
Ива	80	49	1,7	0,8	1,0	нпо	1,5	2,7	1,0	0,7	0,8	0,4	0,5	0,4	0,9	0,9	1,5	1,0	1,0	0,1	2,3	1,1	1,7
	81	50	1,6	4,4	0,7	2,6	1,2	2,4	1,1	0,7	0,9	0,5	0,5	0,4	1,0	0,9	1,5	0,9	0,9	0,4	0,6	1,1	1,5
	82	51	1,8	1,4	0,3	1,2	2,1	2,9	1,1	0,7	1,0	0,5	0,6	0,4	1,0	0,9	1,1	0,8	0,9	0,8	0,6	1,0	1,5
	83	52	1,5	2,0	0,6	0,8	1,3	3,1	1,1	0,6	0,9	0,5	0,5	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,5	0,5	1,1	1,6
	84	53	1,8	2,2	0,4	нпо	1,9	2,8	1,0	0,9	1,0	0,5	0,6	0,6	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	нпо	0,6	1,0	1,7
	среднее		1,7	2,2	0,6	1,5	1,6	2,8	1,1	0,7	0,9	0,5	0,5	0,6	0,9	0,9	1,2	0,9	0,9	0,5	0,9	1,1	1,6
Егошиха	90	54	7,5	1,6	2,1	2,2	7,8	4,4	0,9	0,7	1,0	0,5	0,5	0,4	1,0	0,9	1,6	1,0	0,9	1,6	0,8	1,1	1,9
	91	55	5,9	5,6	1,3	1,0	5,3	4,7	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	1,2	0,8	0,8	1,7	8,1	0,9	2,7
	92	56	6,0	5,2	1,2	1,8	6,1	4,9	0,9	0,5	1,0	0,4	0,5	0,5	0,9	0,7	1,4	0,8	0,8	1,1	9,6	0,9	2,7
	93	57	6,5	6,2	1,2	1,4	6,7	7,3	0,9	0,6	1,1	0,5	0,5	0,4	1,0	0,7	1,9	0,7	0,8	0,6	7,5	1,0	2,8
	94	58	5,5	4,9	1,2	2,8	5,2	4,6	0,9	0,6	1,0	0,5	0,4	0,3	0,9	0,7	1,6	0,8	0,8	0,9	11,4	0,9	3,0
	среднее		6,3	4,7	1,4	1,8	6,2	5,2	0,9	0,6	1,0	0,5	0,5	0,4	0,9	0,8	1,5	0,8	0,8	1,2	7,5	1,0	2,6
Данилиха	100	59	8,0	5,7	7,2	нпо	12,0	12,3	0,9	0,5	0,9	0,4	0,5	0,2	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	3,9	12,6	1,0	2,4
	101	60	2,1	2,5	0,4	2,6	0,7	2,3	0,8	0,8	0,6	0,3	0,4	0,5	0,7	0,5	1,1	0,7	0,1	0,4	3,2	0,9	1,2
	102	61	2,1	3,3	0,5	1,6	0,9	2,2	0,8	1,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,7	0,5	1,4	0,7	0,9	1,1	2,9	0,9	1,2
	103	62	2,6	3,9	0,4	0,8	1,5	2,1	0,8	1,2	0,7	0,4	0,5	0,4	0,8	0,7	0,3	0,8	0,9	1,0	3,0	0,9	1,3
	104	63	2,7	3,9	0,7	1,4	1,4	2,1	0,8	1,1	0,8	0,3	0,5	0,3	0,7	0,6	0,8	0,7	0,9	0,7	2,8	0,9	1,4
	среднее		3,5	3,9	1,8	1,6	3,3	4,2	0,8	1,0	0,7	0,3	0,5	0,4	0,8	0,6	0,9	0,7	0,7	1,4	4,9	0,9	1,5
В. Мулянка	110	64	2,8	2,0	0,4	нпо	1,6	3,3	0,9	1,3	1,1	0,5	0,6	0,5	0,9	0,8	1,6	1,0	0,9	3,0	4,1	1,0	2,5
	111	65	2,9	1,6	0,3	1,8	1,9	2,7	0,9	0,9	0,9	0,5	0,6	0,4	0,9	0,9	1,5	0,9	1,0	0,9	2,0	1,0	2,4
	среднее		2,9	1,8	0,4	1,8	1,8	3,0	0,9	1,1	1,0	0,5	0,6	0,5	0,9	0,9	1,6	1,0	1,0	2,0	3,1	1,0	2,5

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения; \* - кларк для почв по Виноградову [35].

Продолжение приложения 6

Таблица 8

Коэффициенты превышения химическими элементами кларков  $K_K$  в глееватых слоях аллювия почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Кларк*	50	10	200	5	40	20	300	850	38000	50	100	30	4600	300	6300	71300	330000	800	850	13600
Ива	80	66	<b>1,8</b>	0,6	0,9	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>2,7</b>	1,0	0,8	0,8	0,4	0,5	0,3	0,9	0,8	<b>1,4</b>	1,0	1,0	0,6	<b>2,9</b>	1,0	<b>1,7</b>
	<b>85</b>	67	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	<b>3,5</b>	1,0	1,0	1,0	0,4	0,5	0,4	<b>1,2</b>	0,8	0,7	1,0	0,9	0,3	0,6	<b>1,1</b>	1,0
Егошиха	90	68	<b>6,9</b>	<b>4,6</b>	<b>2,3</b>	нпо	<b>7,0</b>	<b>6,2</b>	0,9	0,7	1,0	0,4	0,6	0,3	1,0	0,9	<b>1,5</b>	1,0	0,9	0,9	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>
	<b>95</b>	69	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	0,7	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	1,0	0,5	0,5	0,8	1,0	0,8	0,5	0,9	0,8	нпо	0,7	0,9	<b>1,4</b>
Данлиха	<b>105</b>	70	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	0,5	0,8	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>	0,7	0,6	0,9	0,5	0,7	0,3	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	1,0	0,1	0,5	<b>1,2</b>	0,8
В. Мулянка	110	71	<b>2,3</b>	<b>2,1</b>	0,4	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>3,5</b>	0,9	1,0	1,0	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	<b>2,1</b>	0,9	0,9	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>	1,0	<b>2,6</b>
	111	72	<b>2,3</b>	<b>1,2</b>	0,4	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>	1,0	<b>1,3</b>	1,0	0,5	0,5	0,3	0,9	1,0	<b>1,5</b>	1,0	1,0	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>2,4</b>
Ласьва	120	73	<b>2,7</b>	<b>9,4</b>	0,5	<b>2,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	0,9	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	0,6	0,6	0,6	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,5</b>	1,0	0,9	<b>1,9</b>	0,5	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>
	121	74	<b>3,3</b>	<b>12,2</b>	0,3	<b>2,2</b>	0,9	<b>1,8</b>	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	0,6	0,5	0,6	<b>1,1</b>	0,9	0,6	0,8	0,8	<b>1,9</b>	0,6	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>
	122	75	<b>3,7</b>	<b>19,6</b>	0,4	<b>4,6</b>	<b>2,4</b>	<b>2,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	0,6	0,7	0,4	1,0	0,8	0,4	0,8	0,8	<b>2,4</b>	0,9	1,0	<b>2,7</b>
	123	76	<b>3,6</b>	<b>12,0</b>	0,2	<b>3,4</b>	<b>1,5</b>	<b>2,3</b>	1,0	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	0,6	0,6	0,4	<b>1,2</b>	0,8	0,7	0,9	0,9	1,0	0,6	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>
	124	77	<b>3,1</b>	<b>17,7</b>	0,3	нпо	<b>1,3</b>	<b>2,5</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	0,6	0,6	0,7	1,0	0,8	0,2	0,7	0,8	<b>2,0</b>	0,5	0,9	<b>2,4</b>
	среднее		<b>3,3</b>	<b>14,2</b>	<b>0,3</b>	<b>3,2</b>	<b>1,5</b>	<b>2,2</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>2,2</b>
	120	78	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	0,5	нпо	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>	0,8	0,9	1,0	0,5	0,6	0,4	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,5</b>	1,0	1,0	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,9
	120	79	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>2,3</b>	0,8	0,8	1,0	0,5	0,5	0,4	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	1,0	0,9	<b>1,1</b>	0,9	0,5	1,0	0,9
	120	80	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	0,4	нпо	1,0	<b>1,3</b>	0,8	0,8	1,0	0,6	0,6	0,5	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,6	0,5	1,0	1,0

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения; \* - кларк для почв по Виноградову [35].

Продолжение приложения 6

Таблица 9

Ряды ассоциаций коэффициентов рассеивания химических элементов  $K_K$  в почвах и наилках пойм малых рек левобережной части города Перми

$K_K$	<b>наилки пойм верхних течений рек</b>
р. Ива	$(K,Zr,Ti)_{1,0} (S,Si,Al,Fe,Sr)_{0,9} Cr_{0,8} P_{0,6} (Ga,Rb)_{0,5} Y_{0,4}$
р. Егошиха	$Sr_{1,0} K_{0,9} Al_{0,8} (Si,Zr)_{0,7} (Mg,Rb)_{0,6} Y_{0,5}$
р. Данилиха	$Sr_{0,9} Ti_{0,7} Si_{0,6} (P,Al,Ga,Y)_{0,4} K_{0,5} (Zr,Rb)_{0,3}$
<b>наилки пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	$(P,Sr)_{1,0} (Si,Al,Zr)_{0,9} (Ga,Rb,Y)_{0,6}$
р. Егошиха	$Al_{1,0} (Si,Sr)_{0,9} (K,Ti,Ga)_{0,8} Zr_{0,7} Rb_{0,5} Y_{0,4}$
р. Данилиха	$K_{1,0} (Ti,Sr)_{0,9} Al_{0,7} Zr_{0,6} (Ga,Rb,Y)_{0,5}$
<b>поверхностные горизонты почв пойм верхних течений рек</b>	
р. Ива	$(K,Zr,Fe,As)_{1,0} (Si,Al)_{0,9} (Sr,Ca,Cr)_{0,8} S_{0,7} (Rb,P)_{0,6} Ga_{0,5} Y_{0,4}$
р. Егошиха	$(K,Ti,Sr)_{1,0} Mg_{0,9} (Si,Al)_{0,8} Zr_{0,7} (Rb,Y)_{0,5} (Ga,Cr)_{0,4}$
р. Данилиха	$(S,Zr,Ti)_{1,0} (Fe,Mn,Ga,Si)_{0,9} (As,Al)_{0,8} (Sr,Cr)_{0,7} Rb_{0,6} (P,Y)_{0,5}$
<b>поверхностные горизонты почв пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	$(Zr,Sr)_{1,0} (P,Si,Al)_{0,9} (Ga,Rb)_{0,7} Y_{0,6}$
р. Егошиха	$(K,Si)_{1,0} (Al,Ti,Sr)_{0,9} Zr_{0,8} Ga_{0,6} Rb_{0,5} Y_{0,4}$
р. Данилиха	$(K,Ti,Mn)_{1,0} (Si,Al,Fe,Sr)_{0,9} Zr_{0,8} (Ga,Rb)_{0,6} Y_{0,3}$
р. В. Мулянка	$(K,Zr,Ti)_{1,0} (Si,Al)_{0,9} As_{0,8} Rb_{0,6} Y_{0,5} Cr_{0,4} Ga_{0,2}$
<b>глеевые горизонты почв пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	$(Ti,Fe,Cr,Al,Si,Ga)_{1,0} (Mn,Zr)_{0,9} P_{0,8} Rb_{0,6} Y_{0,5}$
р. Егошиха	$(Al,Ti,Sr)_{1,0} (Si,Zr)_{0,9} Mn_{0,7} Ga_{0,6} (Rb,Y)_{0,5}$
р. Данилиха	$K_{1,0} (Fe,Ti,Sr,Si)_{0,9} (Al,Zr)_{0,8} (Ga,Rb)_{0,5} Y_{0,4}$
<b>слои аллювия почв пойм верхних течений рек</b>	
р. Ива	$(Fe,Mn,Al,Ca,Sr,Cr)_{1,0} Si_{0,9} Zr_{0,8} Mg_{0,7} S_{0,6} Rb_{0,5} (Ga,Y)_{0,4} P_{0,3}$
р. Егошиха	$(Ti,Fe)_{1,0} (K,Al)_{0,9} (Si,Zr,Ga)_{0,8} (S,Cr)_{0,7} (Mg,Rb,Y)_{0,5}$
р. Данилиха	$Si_{1,0} (Fe,Al)_{0,9} (As,Ca)_{0,8} (Sr,Rb)_{0,7} Mn_{0,6} (Cr,Y,S)_{0,5} Ga_{0,3} P_{0,1}$
<b>слои аллювия почв пойм нижних течений рек</b>	
р. Ива	$(Sr,Si,Al,K)_{1,0} (Ti,Cr)_{0,9} (Fe,Mn,Zr)_{0,8} (Pb,P)_{0,6} Rb_{0,5} Y_{0,4} Ga_{0,3}$
р. Егошиха	$(Al,Ti,Fe)_{1,0} (Sr,Zr,Si,P)_{0,9} Mn_{0,7} Rb_{0,6} Y_{0,4} Ga_{0,3}$
р. В. Мулянка	$(K,Si,Al,Zr,Fe,Sr)_{1,0} Ti_{0,9} Ga_{0,6} (Rb,Y)_{0,5} Cr_{0,4}$

Продолжение приложения 6

Таблица 10

Индексы загрязнения  $K_{уф}$  химическими элементами для наилок пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	условный фон																				
			Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
Ива	80	1	1,4	0,6	1,5	1,0	1,6	0,6	0,9	1,3	1,0	1,1	1,2	0,7	1,0	0,8	1,2	1,0	1,0	1,4	1,3	1,1	1,3
	81	2	1,3	1,2	0,6	1,0	0,9	0,3	1,1	1,3	1,1	1,1	1,2	1,4	1,1	1,0	0,8	0,9	1,0	0,5	1,5	1,0	1,7
	82	3	1,5	1,2	0,7	2,8	1,5	0,5	1,1	1,6	1,2	1,3	1,3	1,1	1,1	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,4	1,1	1,6
	83	4	1,5	1,0	1,3	2,5	1,5	0,5	1,0	1,5	1,2	1,2	1,3	1,4	1,0	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	1,2	1,1	1,6
	84	5	1,7	1,6	1,1	2,3	1,4	0,7	1,1	1,7	1,2	1,2	1,3	0,9	1,1	0,9	0,8	1,0	1,0	1,7	1,2	1,1	1,7
Егошиха	90	7	3,2	2,0	3,3	1,0	3,9	0,7	0,9	0,7	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,7	3,9	1,1	0,9	5,8	5,3	0,8	2,0
	91	8	2,1	1,6	1,5	1,0	2,8	0,8	0,9	0,8	1,1	0,8	0,8	1,7	0,9	0,6	0,7	0,7	0,9	1,7	2,1	0,8	2,2
	92	9	1,9	1,4	1,4	2,3	2,9	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,6	0,7	0,6	1,3	0,8	0,9	3,5	2,4	0,8	2,2
	93	10	2,5	1,7	1,2	нпо	2,9	0,7	1,0	1,0	1,1	0,9	0,9	1,1	0,8	0,6	1,6	0,7	0,9	1,4	2,8	0,8	2,4
	94	11	2,5	1,1	1,3	нпо	2,8	0,8	1,0	0,7	1,0	0,7	0,8	1,3	0,8	0,7	0,6	0,7	1,0	1,1	2,0	0,8	2,1
	95	12	2,9	2,1	2,7	2,3	2,2	0,6	1,0	3,6	1,5	1,2	1,3	нпо	1,1	0,8	0,4	0,9	0,8	4,5	1,4	0,9	2,0
Данилиха	100	13	1,8	1,8	1,6	нпо	2,1	0,4	0,9	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	1,7	0,6	1,2	1,8	2,5	0,6	1,1
	101	14	3,8	1,7	1,5	3,3	3,7	1,4	0,9	1,1	1,4	0,9	1,1	1,1	1,0	0,6	1,7	0,8	0,8	4,6	3,1	1,0	2,9
	102	15	4,4	2,4	1,4	2,3	3,5	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,1	0,9	0,9	0,6	0,7	0,7	0,8	1,5	2,7	0,9	3,2
	103	16	4,4	2,5	1,2	1,5	3,3	1,4	0,9	1,2	1,4	1,0	1,0	1,1	0,9	0,6	0,3	0,7	0,8	0,4	2,4	0,9	3,3
	104	17	4,2	2,5	1,1	2,3	3,5	1,3	0,9	1,4	1,4	1,0	1,0	0,5	0,9	0,6	0,9	0,7	0,8	3,9	2,6	0,9	3,4
	105	18	4,8	3,2	2,7	2,0	6,9	2,4	0,8	1,4	1,5	0,8	0,6	0,9	0,7	0,3	5,1	0,5	0,7	0,7	2,1	0,5	3,5
среднее			2,7	1,7	1,5	2,3	2,8	0,9	1,0	1,3	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	1,4	0,8	0,9	2,1	2,2	0,9	2,3

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 11

Индексы загрязнения  $K_{уф}$  химическими элементами для поверхностных горизонтов почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	элементы																				
			Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
Ива	80	24	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	нпо	<b>1,7</b>	0,8	<b>1,1</b>	0,8	1,0	0,9	<b>1,1</b>	0,4	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	
	81	25	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	0,8	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>2,4</b>
	82	26	<b>1,2</b>	1,0	1,0	нпо	<b>1,3</b>	0,7	<b>1,2</b>	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,9	1,0	0,6	1,0	1,0	0,6	0,9	<b>1,1</b>	<b>2,4</b>
	83	27	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>	0,8	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	1,0	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	1,0	<b>2,3</b>
	84	28	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	0,9	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>2,7</b>
Егошиха	90	30	<b>4,0</b>	<b>1,8</b>	<b>3,5</b>	нпо	<b>6,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	0,6	0,9	0,9	0,8	0,4	0,8	0,8	0,6	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	1,0	<b>2,4</b>
	91	31	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>	нпо	<b>3,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	0,8	<b>1,1</b>	0,9	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,3	<b>1,9</b>	0,9	<b>3,7</b>
	92	32	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>	<b>3,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,1</b>	0,7	0,8	<b>1,1</b>	0,8	0,6	0,6	0,8	0,9	<b>4,1</b>	<b>1,9</b>	0,9	<b>3,8</b>
	93	33	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>4,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	0,7	<b>1,1</b>	0,9	0,8	0,4	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9	1,0	<b>1,8</b>	0,9	<b>3,7</b>
	94	34	<b>2,2</b>	<b>2,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>3,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	0,9	0,9	0,6	0,8	0,7	<b>1,4</b>	0,7	0,9	<b>2,3</b>	<b>1,9</b>	0,9	<b>4,0</b>
	95	35	0,7	0,8	0,5	нпо	<b>1,2</b>	0,7	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	1,0	0,8	0,8	0,7	0,5	0,9	0,9	<b>1,9</b>	<b>1,7</b>	1,0	<b>1,8</b>
Данилиха	100	36	<b>3,0</b>	<b>4,3</b>	<b>4,2</b>	нпо	<b>4,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	0,4	1,0	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,9	0,8	0,8	1,0	1,0	<b>3,3</b>	<b>1,9</b>	1,0	<b>2,5</b>
	101	37	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	0,5	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	0,8	1,0	0,5	0,7	0,6	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4	0,7	0,9	0,7	<b>1,9</b>	0,8	<b>2,5</b>
	102	38	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	0,8	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	0,9	1,0	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,6	0,9	нпо	<b>2,4</b>	0,8	<b>3,4</b>
	103	39	1,0	<b>1,1</b>	0,6	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	0,7	1,0	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,5	0,1	0,7	0,9	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>	0,8	<b>2,7</b>
	104	40	0,9	1,0	0,6	<b>1,4</b>	0,7	0,6	1,0	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7	0,9	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>	0,8	<b>2,4</b>
	105	41	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	1,0	0,8	<b>2,2</b>	0,6	0,9	0,5	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	0,9	1,0	0,7	0,9	1,0	0,8	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>
Верхняя Мулянка	110	42	0,9	<b>1,1</b>	0,4	0,8	<b>1,5</b>	0,7	<b>1,2</b>	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,9	0,3	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>4,6</b>	<b>1,8</b>	1,0	<b>3,1</b>
	111	43	0,9	<b>1,2</b>	0,5	нпо	<b>1,5</b>	0,6	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,4	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	<b>2,0</b>	<b>1,2</b>	0,9	<b>2,5</b>
среднее			<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	1,0	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	0,9	<b>2,7</b>

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 12

Индексы загрязнения  $K_{уф}$  химическими элементами для глеевых горизонтов почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
	85	67																					
	67																						
	67																						
	11																						
	192																						
	6																						
	70																						
	70																						
	309																						
	828																						
	38536																						
	22																						
	46																						
	13																						
	5331																						
	246																						
	4468																						
	70389																						
	305680																						
	275																						
	496																						
	14284																						
	13349																						
Ива	80	49	<b>1,3</b>	0,7	1,0	нпо	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,8	0,8	1,0	<b>2,1</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,3	<b>3,9</b>	1,0	<b>1,7</b>
	81	50	<b>1,2</b>	<b>4,0</b>	0,7	<b>2,2</b>	0,7	0,7	<b>1,1</b>	0,7	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,0	0,9	1,0	<b>2,1</b>	0,9	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,5</b>
	82	51	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	0,3	1,0	<b>1,2</b>	0,8	1,0	0,8	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	1,0	0,8	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	0,9	1,0	<b>2,3</b>	1,0	1,0	<b>1,6</b>
	83	52	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	0,6	0,7	0,7	0,9	<b>1,1</b>	0,6	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>2,2</b>	0,8	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	1,0	<b>1,4</b>	0,8	1,0	<b>1,6</b>
	84	53	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>	0,5	нпо	<b>1,1</b>	0,8	1,0	0,9	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,9	1,0	нпо	1,0	1,0	<b>1,7</b>
Егошиха	90	54	<b>5,6</b>	<b>1,5</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>4,5</b>	<b>1,3</b>	0,9	0,8	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,9	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	1,0	1,0	<b>4,7</b>	<b>1,3</b>	1,0	<b>2,0</b>
	91	55	<b>4,4</b>	<b>5,1</b>	<b>1,4</b>	0,8	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	0,9	0,5	1,0	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	0,7	0,9	<b>1,7</b>	0,8	0,9	<b>4,9</b>	<b>13,8</b>	0,9	<b>2,7</b>
	92	56	<b>4,5</b>	<b>4,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>3,5</b>	<b>1,4</b>	0,9	0,5	1,0	1,0	1,0	<b>1,2</b>	0,7	0,8	<b>1,9</b>	0,8	0,9	<b>3,3</b>	<b>16,4</b>	0,8	<b>2,8</b>
	93	57	<b>4,8</b>	<b>5,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>3,8</b>	<b>2,1</b>	0,9	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,8	0,8	0,9	<b>2,7</b>	0,8	0,9	<b>1,8</b>	<b>12,8</b>	0,9	<b>2,9</b>
	94	58	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>	<b>1,3</b>	<b>2,3</b>	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	0,7	0,8	0,8	<b>2,3</b>	0,8	0,9	<b>2,6</b>	<b>19,5</b>	0,9	<b>3,1</b>
Данилиха	100	59	<b>6,0</b>	<b>5,2</b>	<b>7,5</b>	нпо	<b>6,9</b>	<b>3,5</b>	0,9	0,6	0,9	0,9	1,0	0,5	0,8	0,9	<b>1,2</b>	0,8	1,0	<b>11,3</b>	<b>21,5</b>	0,9	<b>2,4</b>
	101	60	<b>1,6</b>	<b>2,3</b>	0,4	<b>2,2</b>	0,4	0,7	0,8	0,8	0,6	0,8	0,9	<b>1,2</b>	0,6	0,6	<b>1,6</b>	0,7	0,1	<b>1,1</b>	<b>5,6</b>	0,9	<b>1,2</b>
	102	61	<b>1,6</b>	<b>3,0</b>	0,5	<b>1,3</b>	0,5	0,6	0,8	<b>1,2</b>	0,6	0,7	1,0	<b>1,1</b>	0,6	0,6	<b>1,9</b>	0,7	1,0	<b>3,1</b>	<b>5,0</b>	0,8	<b>1,3</b>
	103	62	<b>1,9</b>	<b>3,5</b>	0,5	0,7	0,8	0,6	0,8	<b>1,2</b>	0,7	0,8	<b>1,1</b>	0,9	0,7	0,9	0,5	0,8	1,0	<b>2,8</b>	<b>5,1</b>	0,9	<b>1,4</b>
	104	63	<b>2,0</b>	<b>3,5</b>	0,7	<b>1,2</b>	0,8	0,6	0,8	<b>1,2</b>	0,7	0,7	1,0	0,6	0,6	0,7	<b>1,1</b>	0,7	1,0	<b>2,1</b>	<b>4,7</b>	0,9	<b>1,4</b>
Верхняя Мулянка	110	64	<b>2,1</b>	<b>1,8</b>	0,4	нпо	0,9	0,9	0,9	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	0,8	0,9	<b>2,2</b>	1,0	1,0	<b>8,7</b>	<b>7,0</b>	0,9	<b>2,6</b>
	111	65	<b>2,1</b>	<b>1,5</b>	0,3	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	0,8	0,9	1,0	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	0,9	0,8	<b>1,1</b>	<b>2,2</b>	1,0	1,0	<b>2,5</b>	<b>3,4</b>	1,0	<b>2,4</b>
среднее			<b>2,8</b>	<b>3,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	0,9	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,8	0,9	<b>1,8</b>	0,8	0,9	<b>3,2</b>	<b>7,3</b>	0,9	<b>2,0</b>

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 13

Индексы загрязнения Куф химическими элементами для глееватых слоёв аллювия почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
Условный фон	85	67																					
	67	11	192	6	70	70	309	828	38536	22	46	13	5331	246	4468	70389	305680	275	496	14284	13349		
Ива	80	66	<b>1,3</b>	0,5	1,0	<b>1,2</b>	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,8	<b>1,1</b>	0,8	0,8	0,9	<b>2,0</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>	<b>4,9</b>	1,0	<b>1,8</b>
Егошиха	90	68	<b>5,1</b>	<b>4,2</b>	<b>2,4</b>	нпо	<b>4,0</b>	<b>1,8</b>	0,9	0,7	1,0	1,0	<b>1,4</b>	0,8	0,9	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	1,0	1,0	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>
	<b>95</b>	69	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	0,7	<b>1,5</b>	0,8	0,4	1,0	<b>1,9</b>	1,0	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	0,9	1,0	0,7	0,9	0,9	нпо	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,4</b>
Данилиха	<b>105</b>	70	1,0	<b>1,4</b>	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,6	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>	0,9	<b>1,1</b>	0,3	0,8	<b>1,1</b>	0,8
Верхняя Мулянка	110	71	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	0,4	<b>1,2</b>	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	0,7	1,0	<b>2,9</b>	0,9	1,0	<b>6,1</b>	<b>3,3</b>	1,0	<b>2,7</b>
	111	72	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	0,4	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	0,8	1,0	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,7	0,8	<b>1,2</b>	<b>2,2</b>	1,0	1,0	<b>4,1</b>	<b>1,9</b>	0,9	<b>2,5</b>
среднее			<b>1,9</b>	<b>1,7</b>	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	0,9	<b>1,1</b>	1,0	1,0	<b>1,2</b>	1,0	0,8	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>	0,9	1,0	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	1,0	<b>1,8</b>

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 14

Коэффициенты ЕФ обогащения химическими элементами, нормированные по железу, в наилках пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
Ива	80	1	<b>1,4</b>	0,5	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	0,6	0,9	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	0,7	1,0	0,8	<b>1,2</b>	1,0	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	1,0	<b>1,2</b>
	81	2	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	0,5	<b>1,2</b>	0,9	0,2	1,0	<b>1,2</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	1,0	0,9	0,7	0,8	0,9	0,4	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,5</b>
	82	3	<b>1,3</b>	1,0	0,6	<b>3,1</b>	<b>1,3</b>	0,5	0,9	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,9	0,8	0,6	0,8	0,8	0,9	<b>1,2</b>	0,9	<b>1,4</b>
	83	4	<b>1,2</b>	0,9	<b>1,1</b>	<b>2,8</b>	<b>1,2</b>	0,4	0,9	<b>1,2</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,9	0,8	0,5	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	<b>1,3</b>
	84	5	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	0,9	<b>2,5</b>	<b>1,2</b>	0,6	0,9	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	<b>1,4</b>	1,0	0,9	<b>1,4</b>
	среднее			<b>1,3</b>	1,0	0,9	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>	0,4	0,9	<b>1,3</b>	1,0	<b>1,1</b>	1,0	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	0,9
Егошиха	90	7	<b>3,1</b>	<b>1,9</b>	<b>3,1</b>	<b>1,3</b>	<b>3,7</b>	0,7	0,9	0,7	0,9	0,9	0,6	0,8	0,7	<b>3,8</b>	1,0	0,9	<b>5,5</b>	<b>5,1</b>	0,8	<b>2,0</b>
	91	8	<b>1,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>2,6</b>	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	<b>1,6</b>	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	<b>1,5</b>	<b>1,9</b>	0,7	<b>2,0</b>
	92	9	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	0,6	0,7	0,6	<b>1,2</b>	0,7	0,9	<b>3,4</b>	<b>2,3</b>	0,8	<b>2,1</b>
	93	10	<b>2,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	0,9	<b>2,5</b>	0,6	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,7	0,5	<b>1,4</b>	0,6	0,8	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	0,7	<b>2,1</b>
	94	11	<b>2,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	1,0	<b>2,8</b>	0,8	1,0	0,7	0,7	0,8	<b>1,3</b>	0,8	0,7	0,7	0,7	1,0	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>	0,8	<b>2,1</b>
	среднее			<b>2,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>2,9</b>	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8	1,0	0,8	0,6	<b>1,5</b>	0,7	0,9	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	0,8
Данилиха	<b>95</b>	12	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	0,4	0,7	<b>2,4</b>	0,8	0,8	0,1	0,7	0,5	0,3	0,6	0,6	<b>3,0</b>	0,9	0,6	<b>1,3</b>
	100	13	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>1,6</b>	<b>3,4</b>	0,7	<b>1,5</b>	0,8	0,9	<b>1,3</b>	0,8	0,8	0,6	<b>2,9</b>	1,0	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>	<b>4,1</b>	1,0	<b>1,9</b>
	101	14	<b>2,7</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>3,1</b>	<b>2,7</b>	1,0	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	<b>1,2</b>	0,6	0,6	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>	0,7	<b>2,1</b>
	102	15	<b>3,1</b>	<b>1,7</b>	1,0	<b>2,1</b>	<b>2,4</b>	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	0,6	<b>2,3</b>
	103	16	<b>3,2</b>	<b>1,8</b>	0,9	<b>1,5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,1</b>	0,7	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	0,4	0,3	0,5	0,6	0,3	<b>1,7</b>	0,7	<b>2,4</b>
	104	17	<b>3,0</b>	<b>1,8</b>	0,8	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>	0,9	0,6	1,0	0,7	0,7	0,4	0,6	0,4	0,6	0,5	0,6	<b>2,7</b>	<b>1,8</b>	0,6	<b>2,4</b>
среднее			<b>3,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,3</b>	<b>2,1</b>	<b>2,7</b>	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,5	<b>1,1</b>	0,6	0,9	<b>2,1</b>	<b>2,4</b>	0,7	<b>2,2</b>
<b>105</b>	18	<b>3,2</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	<b>4,6</b>	<b>1,6</b>	0,5	1,0	0,6	0,4	0,6	0,5	0,2	<b>3,5</b>	0,3	0,5	0,4	<b>1,4</b>	0,4	<b>2,4</b>	

Продолжение приложения 6

Таблица 15

Коэффициенты EF обогащения химическими элементами, нормированные по железу, в поверхностных горизонтах почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Ива	80	24	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	0,6	<b>1,7</b>	0,8	<b>1,1</b>	0,8	0,9	<b>1,1</b>	0,5	0,9	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,8
81	25	<b>1,4</b>		<b>1,3</b>	0,7	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	1,0	1,0	1,0	<b>1,2</b>	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	<b>2,2</b>
82	26	<b>1,1</b>		1,0	0,9	0,6	1,3	0,7	<b>1,1</b>	0,6	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,8	1,0	0,5	1,0	0,9	0,6	0,8	1,0	<b>2,3</b>
83	27	<b>1,2</b>		<b>1,8</b>	0,7	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	<b>1,2</b>	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	<b>1,2</b>	1,0	0,9	<b>2,1</b>
84	28	<b>1,3</b>		<b>1,5</b>	0,8	<b>1,9</b>	<b>1,8</b>	1,0	1,0	0,9	<b>1,1</b>	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	0,9	<b>2,3</b>
среднее				<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	0,9	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	0,9	1,0	0,8	<b>1,1</b>	1,0	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
Егошиха	90	30	<b>4,2</b>	<b>1,9</b>	<b>3,7</b>	0,6	<b>6,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	0,6	1,0	0,8	0,4	0,8	0,8	0,7	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	1,0	<b>2,5</b>
	91	31	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	0,6	<b>3,1</b>	<b>1,2</b>	1,0	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,3	<b>1,7</b>	0,8	<b>3,4</b>
	92	32	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>2,9</b>	<b>1,3</b>	0,9	0,8	0,6	0,7	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	<b>3,6</b>	<b>1,7</b>	0,8	<b>3,3</b>
	93	33	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>3,7</b>	<b>1,3</b>	1,0	0,6	0,8	0,7	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	<b>1,6</b>	0,8	<b>3,4</b>
	94	34	<b>1,8</b>	<b>2,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>3,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6	<b>1,2</b>	0,6	0,7	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	0,7	<b>3,4</b>
	среднее			<b>2,4</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>	<b>3,9</b>	<b>1,3</b>	1,0	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	0,8
Данилиха	100	36	<b>3,2</b>	<b>4,5</b>	<b>4,4</b>	0,6	<b>5,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	0,4	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,9	0,9	0,8	1,0	<b>1,1</b>	<b>3,5</b>	<b>2,0</b>	1,0	<b>2,6</b>
	101	37	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>	0,7	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	0,8	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	0,8	0,7	0,5	1,0	<b>1,4</b>	1,0	<b>2,8</b>	<b>1,2</b>	<b>3,7</b>
	102	38	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	1,0	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	0,8	1,0	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	<b>1,2</b>	нпо	<b>3,3</b>	<b>1,1</b>	<b>4,6</b>
	103	39	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	1,0	<b>2,1</b>	<b>1,7</b>	1,0	<b>1,6</b>	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	0,9	0,8	0,2	1,0	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>	<b>3,1</b>	<b>1,2</b>	<b>4,0</b>
	104	40	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	0,9	<b>2,2</b>	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,5</b>	0,8	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,8	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,1</b>	<b>3,3</b>	<b>1,2</b>	<b>3,7</b>
	среднее			<b>1,9</b>	<b>2,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,7	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	0,9	0,7	0,6	1,0	<b>1,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,9</b>	<b>1,1</b>
Верхняя Мулянка	105	41	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	1,0	0,9	<b>2,3</b>	0,7	0,9	0,6	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,8	1,0	<b>1,1</b>	0,9	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>
	110	42	0,8	1,0	0,4	0,8	<b>1,5</b>	0,6	<b>1,1</b>	0,6	1,0	0,9	0,2	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>4,4</b>	<b>1,7</b>	0,9	<b>3,0</b>
	111	43	0,8	1,0	0,5	0,5	<b>1,3</b>	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	1,0	0,4	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	<b>1,7</b>	1,0	0,8	<b>2,2</b>
среднее			0,8	1,0	0,4	0,6	<b>1,4</b>	0,6	<b>1,1</b>	1,0	1,0	0,9	0,3	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	0,9	<b>2,6</b>

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 16

Коэффициенты ЕФ обогащения химическими элементами, нормированные по железу, в глеевых горизонтах почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Ива	80	49	1,6	0,9	1,2	0,6	1,0	0,9	1,1	0,9	1,2	1,3	1,0	0,9	1,3	2,6	1,2	1,3	0,4
81	50	1,3		4,4	0,7	2,4	0,7	0,7	1,2	0,8	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	2,3	1,0	1,1	1,4	1,2	1,1	1,6
82	51	1,4		1,4	0,3	1,1	1,3	0,9	1,1	0,8	1,2	1,3	1,1	0,9	1,2	1,7	0,9	1,1	2,4	1,1	1,0	1,7
83	52	1,3		2,0	0,7	0,8	0,8	1,0	1,2	0,7	1,2	1,2	2,5	0,9	1,3	1,6	1,0	1,1	1,5	0,9	1,1	1,8
84	53	1,4		2,1	0,5	0,5	1,1	0,8	1,1	1,0	1,2	1,4	1,5	0,8	1,1	1,2	1,0	1,0	нпо	1,0	1,0	1,8
среднее				1,4	2,1	0,7	1,1	1,0	0,9	1,1	0,8	1,2	1,3	1,4	0,9	1,2	1,9	1,0	1,1	1,4	1,8	1,1
Егошиха	90	54	5,8	1,5	2,2	1,9	4,6	1,3	0,9	0,8	1,1	1,2	1,0	0,9	1,1	2,4	1,0	1,1	4,8	1,4	1,0	2,0
	91	55	4,5	5,2	1,4	0,9	3,1	1,4	0,9	0,5	1,1	1,1	1,5	0,7	0,9	1,7	0,8	0,9	5,0	14,2	0,9	2,8
	92	56	4,5	4,8	1,3	1,5	3,5	1,4	0,9	0,5	1,0	1,0	1,2	0,7	0,8	1,9	0,8	0,9	3,3	16,5	0,9	2,8
	93	57	4,5	5,3	1,2	1,1	3,6	2,0	0,8	0,6	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9	2,6	0,7	0,8	1,7	12,0	0,9	2,7
	94	58	4,1	4,4	1,2	2,3	2,9	1,3	0,9	0,6	1,0	0,9	0,7	0,7	0,8	2,2	0,8	0,9	2,6	19,1	0,9	3,0
	среднее			4,7	4,2	1,5	1,5	3,5	1,5	0,9	0,6	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	2,2	0,8	0,9	3,5	12,6	0,9
Данилиха	100	59	6,8	5,9	8,5	0,6	7,8	4,0	1,0	0,6	1,0	1,1	0,6	0,9	1,1	1,4	1,0	1,1	12,9	24,6	1,1	2,8
	101	60	2,5	3,6	0,6	3,5	0,6	1,1	1,3	1,3	1,2	1,4	2,0	1,0	1,0	2,5	1,2	0,2	1,7	8,9	1,4	2,0
	102	61	2,5	4,7	0,8	2,1	0,8	1,0	1,3	1,9	1,1	1,5	1,7	1,0	1,0	3,0	1,1	1,5	4,9	7,8	1,3	2,0
	103	62	2,7	4,9	0,6	0,9	1,2	0,8	1,1	1,6	1,1	1,5	1,3	0,9	1,2	0,7	1,1	1,3	3,9	7,1	1,2	1,9
	104	63	2,8	4,8	1,0	1,6	1,1	0,8	1,1	1,6	1,0	1,4	0,8	0,8	0,9	1,5	1,0	1,3	2,8	6,3	1,2	1,9
	среднее			3,5	4,8	2,3	1,7	2,3	1,5	1,2	1,4	1,1	1,4	1,3	0,9	1,0	1,8	1,1	1,1	5,2	10,9	1,2
Верхняя Мулянка	110	64	2,0	1,7	0,4	0,5	0,9	0,9	0,9	1,2	1,0	1,2	1,2	0,8	0,9	2,1	0,9	0,9	8,3	6,6	0,9	2,5
	111	65	2,3	1,6	0,3	1,6	1,2	0,8	1,0	1,0	1,2	1,3	1,0	0,8	1,2	2,3	1,0	1,1	2,7	3,6	1,0	2,6
	среднее			2,1	1,6	0,4	1,0	1,0	0,8	0,9	1,1	1,1	1,2	1,1	0,8	1,1	2,2	1,0	1,0	5,5	5,1	1,0

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 17

Коэффициенты ЕФ обогащения химическими элементами, нормированные по железу, в глееватых слоях аллювия почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Ива	80	66	1,6	0,7	1,2	1,4	1,1	0,9	1,2	1,1	1,0	1,3	0,9	0,9	1,2	2,4	1,2	1,4	2,1
Егошиха	90	68		5,3	4,3	2,5	0,5	4,2	1,8	0,9	0,7	1,0	1,4	0,8	0,9	1,1	2,2	1,0	1,0	2,8	2,7	1,1
		95	69	1,2	1,1	0,7	1,5	0,7	0,4	1,0	1,8	1,0	1,1	1,7	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	нпо	1,1	0,9
Данилиха	105	70	1,2	1,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,8	0,7	1,3	1,6	0,7	1,1	1,5	2,2	1,1	1,2	0,4	0,9	1,3	0,9
Верхняя Мулянка	110	71	1,6	1,8	0,4	1,1	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,3	0,7	1,0	2,8	0,9	1,0	5,9	3,2	0,9	2,6
	111	72	1,7	1,1	0,4	1,3	1,1	0,8	1,0	1,4	1,1	1,1	0,7	0,8	1,2	2,2	1,0	1,0	4,1	1,9	0,9	2,5
среднее			1,7	1,5	0,4	1,2	1,0	0,9	0,9	1,2	1,1	1,1	1,0	0,7	1,1	2,5	0,9	1,0	5,0	2,5	0,9	2,6

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 18

Коэффициенты загрязнения поверхностных горизонтов почв валовыми концентрациями элементов, влекаемых наилками К<sub>ЗПГВ</sub>, для пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
			Ива	80	1	<b>1,2</b>	0,6	<b>1,1</b>	нпо	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	1,0	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,3</b>	1,0	<b>1,4</b>	1,0	0,8	0,9	0,9	1,0	<b>1,6</b>
81	2	0,7		<b>1,1</b>	0,8	0,4	0,9	0,5	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,9	1,0	<b>1,5</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,6	1,0	1,0	0,4	<b>1,7</b>	1,0	<b>1,4</b>
82	3	<b>1,1</b>		<b>1,5</b>	0,7	нпо	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	1,0	<b>1,3</b>
83	4	0,9		0,7	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	0,9	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>
84	5	0,9		<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	0,8	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,1</b>	1,0	1,0	<b>1,2</b>
<b>85</b>	6	0,9		<b>1,3</b>	1,0	нпо	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	<b>1,3</b>	1,0	<b>1,9</b>
Егошиха	90	7	0,7	<b>1,4</b>	1,0	нпо	0,9	<b>1,1</b>	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	0,9	0,9	<b>4,7</b>	<b>1,1</b>	0,8	<b>3,0</b>	<b>4,8</b>	0,8	<b>1,6</b>
	91	8	0,8	1,0	0,8	нпо	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	<b>1,8</b>	1,0	0,9	0,7	0,9	1,0	<b>4,7</b>	<b>1,4</b>	0,9	<b>1,1</b>
	92	9	0,6	0,7	0,9	1,0	<b>1,2</b>	0,8	1,0	0,7	0,9	<b>1,3</b>	0,9	0,5	0,8	0,9	<b>1,5</b>	0,9	1,0	0,8	<b>1,6</b>	0,9	<b>1,1</b>
	93	10	1,0	0,8	0,8	нпо	1,0	0,8	1,0	<b>1,2</b>	1,0	1,0	1,0	<b>2,1</b>	1,0	0,9	<b>2,3</b>	0,9	0,9	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>	0,9	<b>1,3</b>
	94	11	1,0	0,5	1,0	нпо	<b>1,1</b>	0,8	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	<b>1,8</b>	0,8	1,0	0,3	0,9	<b>1,1</b>	0,5	<b>1,3</b>	0,9	1,0
	<b>95</b>	12	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>5,7</b>	нпо	<b>2,6</b>	<b>1,6</b>	1,0	<b>2,3</b>	<b>1,3</b>	1,0	<b>1,1</b>	нпо	<b>1,1</b>	1,0	0,7	0,9	0,9	<b>2,2</b>	1,0	0,9	<b>2,2</b>
Данилиха	100	13	0,5	0,5	0,4	нпо	0,6	0,6	0,9	1,0	0,6	0,7	0,7	0,4	0,5	0,4	<b>1,6</b>	0,6	<b>1,1</b>	0,5	<b>1,6</b>	0,6	0,9
	101	14	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>	<b>3,5</b>	<b>2,2</b>	<b>4,6</b>	<b>3,3</b>	1,0	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>3,6</b>	<b>1,2</b>	0,9	<b>6,4</b>	<b>2,1</b>	<b>1,2</b>	<b>2,2</b>
	102	15	<b>3,0</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>4,5</b>	<b>2,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,8</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	0,9	нпо	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>
	103	16	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>	<b>1,9</b>	0,9	<b>4,1</b>	<b>3,7</b>	1,0	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	1,0	0,8	0,3	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>2,4</b>
	104	17	<b>4,2</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>1,3</b>	<b>6,9</b>	<b>4,1</b>	<b>1,1</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	0,6	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	1,0	0,9	<b>2,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>2,8</b>
	<b>105</b>	18	<b>3,4</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,0</b>	<b>4,5</b>	<b>6,7</b>	1,0	<b>2,2</b>	<b>1,5</b>	0,7	0,5	0,5	0,7	0,3	<b>5,3</b>	0,5	0,7	0,7	<b>1,9</b>	0,5	<b>5,1</b>
Ласьва	120	19	<b>9,1</b>	<b>1,3</b>	0,7	<b>2,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b>	<b>5,0</b>	<b>1,1</b>	0,9	1,0	<b>4,3</b>	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	<b>6,4</b>	<b>2,6</b>	0,9	<b>7,6</b>
	121	20	<b>1,1</b>	0,9	0,7	<b>1,4</b>	0,8	0,6	1,0	<b>1,1</b>	1,0	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,0	1,0	0,4	0,9	1,0	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	1,0	1,0
	122	21	<b>7,1</b>	<b>1,8</b>	0,9	0,8	1,0	0,7	<b>1,3</b>	<b>5,4</b>	<b>1,1</b>	0,8	<b>1,1</b>	0,3	0,9	0,6	<b>1,2</b>	0,7	0,7	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>	0,8	<b>5,0</b>
	123	22	<b>10,3</b>	<b>1,3</b>	1,0	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>4,1</b>	<b>1,1</b>	0,8	<b>1,2</b>	нпо	0,9	0,6	0,6	0,7	0,7	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>	0,8	<b>4,4</b>
	124	23	1,0	<b>1,3</b>	0,8	нпо	0,8	0,7	1,0	<b>1,1</b>	1,0	1,0	1,0	<b>1,6</b>	1,0	1,0	<b>1,4</b>	0,9	1,0	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 19

Ряды интенсивности поступления с твёрдой фазой наилок валовых концентраций  $K_{ЗПГв}$  и легкоподвижных форм  $K_{ЗПГп}$  химических элементов в поверхностные горизонты почв пойм малых рек города Перми

Поймы <b>верхнего</b> течения рек левобережной части города Перми	
р. Ива	$K_{ЗПГв}: Ca_{1,9} Cu_{1,8} Ni_{1,4} (Pb,S)_{1,3} Sr_{1,1}$
р. Егошиха	$K_{ЗПГв}: Cr_{5,7} Pb_{3,4} Zn_{3,3} Ni_{2,6} Mn_{2,3} (Ca,P)_{2,2} Cu_{1,6} Fe_{1,3} (Rb,Ti)_{1,1}$
р. Данилиха	$K_{ЗПГв}: Cu_{6,7} Mg_{5,3} Ca_{5,1} Ni_{4,5} Zn_{3,4} Cr_{2,9} Pb_{2,8} Mn_{2,2} As_{2,0} S_{1,9} Fe_{1,5}$
Поймы <b>нижнего</b> течения рек левобережной части города Перми	
р. Ива	$K_{ЗПГв}: (Mn,S)_{2,1} Cr_{1,8} As_{1,7} (Ni,P)_{1,6} (Pb,Ga)_{1,5} (Cu,Ca)_{1,4} Y_{1,3} (Zn,Sr)_{1,2} (Zr,K,Fe)_{1,1}$
	$K_{ЗПГп}: Zn_{2,0} Mn_{1,9} Pb_{1,5} Ni_{1,4} Cr_{1,3} Cu_{1,1} Fe_{0,7}$
р. Егошиха	$K_{ЗПГв}: S_{4,8} (P,Mg)_{4,7} Ga_{2,1} Ca_{1,6} Pb_{1,4} Y_{1,3} (Ni,Cu,Mn)_{1,2} (Rb,Al,Si,Fe)_{1,1}$
	$K_{ЗПГп}: Fe_{3,3} Cu_{1,5} Zn_{1,4} Pb_{1,3} Mn_{1,0} Cr_{0,8} Ni_{0,7}$
р. Данилиха	$K_{ЗПГв}: Ni_{6,9} P_{6,4} Zn_{4,2} Cu_{4,1} Mg_{3,6} Cr_{3,5} Pb_{3,4} Ca_{2,8} (As,Mn)_{2,2} (S,Fe)_{2,1} Y_{1,5} (Rb,Ti)_{1,4} Zr_{1,3} (Ga,Al,K)_{1,2} (Si,Sr)_{1,1}$
	$K_{ЗПГп}: Zn_{1,7} Pb_{1,5} (Fe,Mn)_{1,1} Ni_{0,8} Cu_{0,7} Cr_{0,2}$
среднее	$K_{ЗПГв}: Mg_{4,5} P_{3,7} Cr_{3,5} Ni,Zn_{3,0} Cu_{2,8} Ca_{2,5} S_{2,4} Pb_{2,3} (Mn,As)_{2,0} (Fe,Ga,Y)_{1,4} Ti_{1,3} (Rb,Zr,K,Al)_{1,2} (Si,Sr)_{1,1}$
	$K_{ЗПГп}: (Zn,Fe)_{1,7} Pb_{1,4} Mn_{1,3} Cu_{1,1} Ni_{1,0} Cr_{0,8}$
Пойма нижнего течения реки Ласьвы правобережной части города Перми	
р. Ласьва	$K_{ЗПГв}: Zn_{10,3} Ca_{7,6} P_{6,4} Mn_{5,4} Ga_{4,3} S_{2,6} As_{2,0} (Cu,Sr)_{1,9} Pb_{1,8} Mg_{1,4} Ni_{1,3} Rb_{1,2} (K,Fe)_{1,1}$
	$K_{ЗПГп}: Zn_{53,6} Mn_{7,4} Cr_{1,5} (Pb,Ni)_{1,0} Cu_{0,5} Fe_{0,3}$

Таблица 20

Ряды геохимических ассоциаций рассеивания  $K_{ЗПГв}$  химических элементов в поверхностных горизонтах почв пойм малых рек г. Перми

Почва поймы верхнего течения реки Ива	
$K_{ЗПГв}$	$(Fe,Cr,Al,Si,K,Y,Zr)_{1,0} (Zn,Mn,P,Rb,Ga)_{0,9} (Ti,Mg)_{0,8}$
Почва поймы верхнего течения реки Егошиха	
$K_{ЗПГв}$	$(Sr,S,Zr,Y)_{1,0} (Al,Si,K)_{0,9} Mg_{0,7}$
Почва поймы верхнего течения реки Данилиха	
$K_{ЗПГв}$	$Sr_{1,0} (P,Si,Ti,Y)_{0,7} (K,Al,Rb,Ga)_{0,5} Zr_{0,3}$
Почва поймы нижнего течения реки Ива	
$K_{ЗПГв}$	$(Si,Al,Mg,Ti,Rb)_{1,0}$
Почва поймы нижнего течения реки Егошиха	
$K_{ЗПГв}$	$(As,Zn,Cr,Sr,Ti,Zr)_{1,0} K_{0,9}$
Почва поймы нижнего течения реки Данилиха	
$K_{ЗПГв}$	-
Почва поймы нижнего течения реки Ласьва	
$K_{ЗПГв}$	$(Cr,Ti,Zr,Si)_{1,0} (Al,Y)_{0,9}$

Продолжение приложения 6

Таблица 21

Коэффициенты превышения химическими элементами ПДК для валового содержания  $K_{Oв}$  в наилках пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Mn	S
ПДК*			100	32	100	2	85	55	1500	160
Ива	80	1	<b>1,4</b>	0,5	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>6,3</b>
	81	2	<b>1,3</b>	1,0	0,9	<b>2,0</b>	0,8	0,7	<b>1,1</b>	<b>7,5</b>
	82	3	<b>1,5</b>	1,0	1,0	<b>5,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>6,8</b>
	83	4	<b>1,4</b>	0,9	<b>2,1</b>	<b>5,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>5,8</b>
	84	5	<b>1,7</b>	<b>1,3</b>	<b>1,8</b>	<b>4,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,4</b>	<b>5,9</b>
	85	6	1,0	0,8	<b>1,6</b>	нпо	0,9	<b>2,8</b>	0,8	<b>5,0</b>
Егошиха	90	7	<b>3,2</b>	<b>1,7</b>	<b>5,1</b>	<b>2,0</b>	<b>3,4</b>	<b>2,1</b>	0,6	<b>26,1</b>
	91	8	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>2,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>	0,7	<b>10,5</b>
	92	9	<b>1,9</b>	<b>1,2</b>	<b>2,1</b>	<b>4,5</b>	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>	0,7	<b>11,7</b>
	93	10	<b>2,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,9</b>	нпо	<b>2,5</b>	<b>1,8</b>	0,8	<b>13,8</b>
	94	11	<b>2,5</b>	1,0	<b>2,0</b>	нпо	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>	0,6	<b>9,8</b>
	95	12	<b>2,9</b>	<b>1,8</b>	<b>4,2</b>	<b>4,5</b>	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>	<b>3,0</b>	<b>6,9</b>
Данилиха	100	13	<b>1,7</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	нпо	<b>1,8</b>	<b>1,2</b>	0,4	<b>12,3</b>
	101	14	<b>3,7</b>	<b>1,5</b>	<b>2,4</b>	<b>6,5</b>	<b>3,3</b>	<b>3,8</b>	0,9	<b>15,2</b>
	102	15	<b>4,3</b>	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>	<b>4,5</b>	<b>3,0</b>	<b>3,4</b>	1,0	<b>13,4</b>
	103	16	<b>4,4</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>	<b>3,0</b>	<b>2,9</b>	<b>4,0</b>	1,0	<b>11,9</b>
	104	17	<b>4,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,8</b>	<b>4,5</b>	<b>3,1</b>	<b>3,6</b>	<b>1,1</b>	<b>13,0</b>
	105	18	<b>4,7</b>	<b>2,7</b>	<b>4,2</b>	<b>4,0</b>	<b>6,1</b>	<b>6,6</b>	<b>1,2</b>	<b>10,6</b>
Ласьва	120	19	<b>6,3</b>	0,6	0,8	<b>4,0</b>	0,7	0,8	<b>2,7</b>	<b>8,9</b>
	121	20	<b>6,0</b>	0,6	0,7	<b>5,0</b>	0,8	0,8	<b>2,9</b>	<b>7,9</b>
	122	21	<b>5,5</b>	0,6	0,8	<b>2,5</b>	0,7	0,8	<b>2,9</b>	<b>6,3</b>
	123	22	<b>8,1</b>	0,6	0,8	<b>5,0</b>	0,8	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	<b>7,5</b>
	124	23	0,9	0,6	1,0	нпо	0,8	0,8	0,6	<b>6,8</b>
среднее			<b>3,2</b>	<b>1,3</b>	<b>2,0</b>	<b>3,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>10,0</b>

Примечание. \* - ПДК для валового содержания Pb, As, Mn и S взяты по СанПиН 1.2.3685-21 [256]; нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 22

Коэффициенты превышения химическими элементами ПДК для валового содержания  $K_{Oв}$  в поверхностных горизонтах почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Mn	S
ПДК*			100	32	100	2	85	55	1500	160
Ива	80	24	<b>1,2</b>	0,8	<b>2,2</b>	нпо	1,0	<b>1,3</b>	0,8	<b>2,9</b>
	81	25	<b>1,7</b>	0,9	<b>1,2</b>	<b>5,5</b>	0,9	<b>1,7</b>	1,0	<b>4,5</b>
	82	26	<b>1,3</b>	0,7	<b>1,4</b>	нпо	0,8	<b>1,1</b>	0,6	<b>3,4</b>
	83	27	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>3,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	0,9	<b>4,5</b>
	84	28	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>5,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>	1,0	<b>6,2</b>
	85	29	<b>1,2</b>	0,7	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	0,6	<b>1,5</b>	1,0	<b>3,9</b>
Егошиха	90	30	<b>4,6</b>	<b>1,2</b>	<b>5,3</b>	нпо	<b>4,0</b>	<b>1,8</b>	0,6	<b>5,5</b>
	91	31	<b>2,6</b>	<b>1,4</b>	<b>2,9</b>	нпо	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>	0,8	<b>7,3</b>
	92	32	<b>2,9</b>	<b>1,6</b>	<b>2,5</b>	<b>4,5</b>	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>	0,9	<b>7,5</b>
	93	33	<b>2,4</b>	<b>1,7</b>	<b>2,3</b>	<b>4,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,2</b>	0,7	<b>6,9</b>
	94	34	<b>2,5</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b>	<b>3,5</b>	<b>2,3</b>	<b>2,6</b>	1,0	<b>7,4</b>
	95	35	0,9	0,5	0,8	нпо	0,8	1,0	<b>1,3</b>	<b>6,8</b>
Данилиха	100	36	<b>3,5</b>	<b>2,8</b>	<b>6,3</b>	нпо	<b>3,1</b>	<b>2,2</b>	0,4	<b>7,5</b>
	101	37	<b>1,3</b>	0,8	0,7	<b>3,0</b>	0,7	<b>1,2</b>	0,5	<b>7,3</b>
	102	38	<b>1,4</b>	0,9	<b>1,2</b>	<b>3,0</b>	0,7	<b>1,3</b>	0,5	<b>9,5</b>
	103	39	<b>1,2</b>	0,8	1,0	<b>3,5</b>	0,7	<b>1,1</b>	0,6	<b>8,0</b>
	104	40	1,0	0,6	0,9	<b>3,5</b>	0,4	0,9	0,5	<b>8,3</b>
	105	41	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	1,0	0,5	<b>5,4</b>
Верхняя Мулянка	110	42	1,0	0,7	0,6	<b>2,0</b>	1,0	1,0	0,6	<b>6,9</b>
	111	43	<b>1,1</b>	0,8	0,8	нпо	0,9	1,0	<b>1,5</b>	<b>4,6</b>
Ласьва	120	44	0,7	0,5	1,0	<b>2,0</b>	0,6	0,4	0,5	<b>3,4</b>
	121	45	<b>5,5</b>	0,6	1,0	<b>3,5</b>	1,0	<b>1,2</b>	<b>2,6</b>	<b>8,3</b>
	122	46	0,8	0,3	0,8	<b>3,0</b>	0,7	<b>1,1</b>	0,5	<b>4,4</b>
	123	47	0,8	0,5	0,8	<b>3,5</b>	0,8	0,9	0,6	<b>4,0</b>
	124	48	1,0	0,5	<b>1,2</b>	нпо	0,9	<b>1,1</b>	0,5	<b>3,4</b>
среднее			<b>1,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,7</b>	<b>3,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>	<b>5,9</b>

Примечание. \* - ПДК для валового содержания Pb, As, Mn и S взяты по СанПиН 1.2.3685-21 [256]; нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 23

Коэффициенты превышения химическими элементами ПДК для валового содержания  $K_{Oв}$  в глеевых горизонтах почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Mn	S
ПДК*			100	32	100	2	85	55	1500	160
Ива	80	49	0,9	0,3	<b>1,9</b>	нпо	0,7	1,0	0,4	<b>12,1</b>
	81	50	0,8	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>6,5</b>	0,6	0,9	0,4	<b>3,4</b>
	82	51	0,9	0,4	0,6	<b>3,0</b>	1,0	<b>1,1</b>	0,4	<b>3,2</b>
	83	52	0,8	0,6	<b>1,2</b>	<b>2,0</b>	0,6	<b>1,1</b>	0,4	<b>2,5</b>
	84	53	0,9	0,7	0,9	нпо	0,9	1,0	0,5	<b>3,0</b>
Егошиха	90	54	<b>3,8</b>	0,5	<b>4,2</b>	<b>5,5</b>	<b>3,7</b>	<b>1,6</b>	0,4	<b>4,1</b>
	91	55	<b>3,0</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	0,3	<b>42,9</b>
	92	56	<b>3,0</b>	<b>1,6</b>	<b>2,4</b>	<b>4,5</b>	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>	0,3	<b>50,8</b>
	93	57	<b>3,2</b>	<b>1,9</b>	<b>2,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,7</b>	0,3	<b>39,7</b>
	94	58	<b>2,8</b>	<b>1,5</b>	<b>2,4</b>	<b>7,0</b>	<b>2,4</b>	<b>1,7</b>	0,3	<b>60,3</b>
Данилиха	100	59	<b>4,0</b>	<b>1,8</b>	<b>14,4</b>	нпо	<b>5,6</b>	<b>4,5</b>	0,3	<b>66,7</b>
	101	60	<b>1,1</b>	0,8	0,8	<b>6,5</b>	0,3	0,8	0,5	<b>17,3</b>
	102	61	<b>1,1</b>	1,0	1,0	<b>4,0</b>	0,4	0,8	0,7	<b>15,4</b>
	103	62	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	0,9	<b>2,0</b>	0,7	0,7	0,7	<b>15,9</b>
	104	63	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>3,5</b>	0,7	0,8	0,6	<b>14,7</b>
Верхняя Мулянка	110	64	<b>1,4</b>	0,6	0,8	нпо	0,7	<b>1,2</b>	0,7	<b>21,6</b>
	111	65	<b>1,4</b>	0,5	0,6	<b>4,5</b>	0,9	1,0	0,5	<b>10,4</b>
среднее			<b>1,9</b>	<b>1,0</b>	<b>2,3</b>	<b>4,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>22,6</b>

Примечание. \* - ПДК для валового содержания Pb, As, Mn и S взяты по СанПиН 1.2.3685-21 [256]; нпо - ниже предела обнаружения.

Таблица 24

Коэффициенты превышения химическими элементами ПДК для валового содержания  $K_{Oв}$  в глееватых слоях аллювия почв пойм малых рек города Перми

пойма реки	разрез №	образец №	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Mn	S
ПДК*			100	32	100	2	85	55	1500	160
Ива	80	66	0,9	0,2	<b>1,9</b>	<b>3,5</b>	0,7	1,0	0,5	<b>15,3</b>
	85	67	0,7	0,3	<b>1,9</b>	<b>3,0</b>	0,8	<b>1,3</b>	0,6	<b>3,1</b>
Егошиха	90	68	<b>3,4</b>	<b>1,4</b>	<b>4,6</b>	нпо	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>	0,4	<b>8,2</b>
	95	69	0,8	0,4	<b>1,3</b>	<b>4,5</b>	0,6	0,5	1,0	<b>3,6</b>
Данилиха	105	70	0,7	0,5	<b>1,1</b>	<b>2,0</b>	0,6	0,6	0,3	<b>2,5</b>
Верхняя Мулянка	110	71	<b>1,1</b>	0,7	0,8	<b>3,5</b>	0,7	<b>1,3</b>	0,5	<b>10,1</b>
	111	72	<b>1,1</b>	0,4	0,8	<b>4,0</b>	0,9	1,0	0,8	<b>6,0</b>
Ласьва	120	73	<b>1,4</b>	<b>2,9</b>	<b>1,1</b>	<b>6,5</b>	0,7	0,7	0,7	<b>2,8</b>
	121	74	<b>1,6</b>	<b>3,8</b>	0,6	<b>5,5</b>	0,4	0,7	0,7	<b>3,0</b>
	122	75	<b>1,8</b>	<b>6,1</b>	0,8	<b>11,5</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,9	<b>4,6</b>
	123	76	<b>1,8</b>	<b>3,8</b>	0,3	<b>8,5</b>	0,7	0,8	0,9	<b>3,2</b>
	124	77	<b>1,5</b>	<b>5,5</b>	0,7	нпо	0,6	0,9	0,9	<b>2,8</b>
	120	78	0,8	0,5	1,0	нпо	0,6	0,7	0,5	<b>5,1</b>
	120	79	0,6	0,3	<b>2,1</b>	<b>3,5</b>	0,7	0,8	0,5	<b>2,9</b>
	120	80	0,6	0,5	0,8	нпо	0,5	0,5	0,5	<b>2,8</b>
среднее			<b>1,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>5,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,6</b>	<b>5,1</b>

Примечание. \* - ПДК для валового содержания Pb, As, Mn и S взяты по СанПиН 1.2.3685-21 [256]; нпо - ниже предела обнаружения.

Продолжение приложения 6

Таблица 25

Содержание в почвах и наилках пойм нижних течений малых рек г. Перми легкоподвижных форм тяжёлых металлов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 (мг/кг), n = 1

Горизонт, глубина, см	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Fe
р. 80 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. Ива							
наилк, 0-2	20	2,2	1,4	3,7	5,6	443	281
AУg,ur,x2-15	10	1,5	1,1	2,6	5,2	230	381
G <sup>~</sup> ,X 15-30	9	2,7	0,9	2,0	4,6	183	298
р. 90 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Егошиха							
наилк, 0-2	75	4,8	15,2	16,6	12,1	203	673
AУg,ur,X2-15	54	3,6	19,0	23,5	7,9	202	203
G <sup>~</sup> ,X 15-30	23	2,6	21,6	12,9	7,2	169	360
р. 100 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Данилиха							
наилк, 0-2	53	12,1	6,7	10,1	11,2	131	470
AУg,ur,X 2-22	32	8,0	27,1	11,9	16,5	121	440
G <sup>~</sup> ,X 22-70	107	4,5	80,9	72,8	55,2	147	437
р. 120 урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, р. Ласьва							
наилк 0-2	161	<0,5	0,9	1,6	<0,4	1326	94
AУg,ur,x 2-10	3	0,5	0,6	1,6	0,8	178	307
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	12	12,1	0,6	1,7	0,7	192	214

Таблица 26

Коэффициенты превышения элементами ПДК для легкоподвижных форм К<sub>оп</sub> в почвах и наилках пойм малых рек города Перми\*, n = 1

Горизонт, глубина, см	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn
ПДК	23	6	6	4	3	100
р. 80 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. Ива						
наилк, 0-2	0,9	0,4	0,2	0,9	1,9	4,4
AУg,ur,x2-15	0,4	0,3	0,2	0,7	1,7	2,3
G <sup>~</sup> ,X 15-30	0,4	0,5	0,2	0,5	1,5	1,8
р. 90 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Егошиха						
наилк, 0-2	3,3	0,8	2,5	4,2	4,0	2,0
AУg,ur,X2-15	2,3	0,6	3,2	5,9	2,6	2,0
G <sup>~</sup> ,X 15-30	1,0	0,4	3,6	3,2	2,4	1,7
р. 100 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Данилиха						
наилк, 0-2	2,3	2,0	1,1	2,5	3,7	1,3
AУg,ur,X 2-22	1,4	1,3	4,5	3,0	5,5	1,2
G <sup>~</sup> ,X 22-70	4,7	0,8	13,5	18,2	18,4	1,5
р. 120 урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, р. Ласьва						
наилк 0-2	7,0	0,1	0,2	0,4	0,1	13,3
AУg,ur,x 2-10	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	1,8
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	0,5	2,0	0,1	0,4	0,2	1,9
<i>среднее</i>	<i>2,0</i>	<i>0,8</i>	<i>2,4</i>	<i>3,4</i>	<i>3,5</i>	<i>2,9</i>

Примечание: \* - по данным А.А. Васильева [29].

Продолжение приложения 6

Таблица 27

Ряды коэффициентов корреляции (r) парной взаимосвязи между содержанием химических элементов, нормированных по железу, в наилках и горизонтах почв пойм малых рек города Перми

Mn	наилки, n = 23	<u>Zn<sub>0,60</sub> Rb<sub>0,48</sub> Ca<sub>0,42</sub> P<sub>0,33</sub> Sr<sub>0,18</sub> As<sub>0,09</sub> Ti<sub>0,06</sub> Y<sub>0,02</sub> K<sub>-0,05</sub> Ga<sub>-0,27</sub></u> (Zr,Al) <sub>-0,29</sub> (Si,S) <sub>-0,37</sub> <u>Mg<sub>-0,43</sub> Cr<sub>-0,44</sub> Pb<sub>-0,54</sub> Cu<sub>-0,58</sub> Ni<sub>-0,61</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Ca<sub>0,46</sub> Zn<sub>0,32</sub> Sr<sub>0,18</sub> S<sub>0,09</sub> As<sub>0,08</sub> P<sub>0,02</sub> Rb<sub>-0,01</sub> Cu<sub>-0,12</sub> Mg<sub>-0,13</sub></u> Ga <sub>-0,14</sub> Y <sub>-0,17</sub> (Ni,Pb) <sub>-0,24</sub> Cr <sub>-0,29</sub> Ti <sub>-0,31</sub> K <sub>-0,33</sub> Si <sub>-0,34</sub> <u>Al<sub>-0,48</sub> Zr<sub>-0,49</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Rb<sub>0,83</sub> K<sub>0,71</sub> Al<sub>0,65</sub> Sr<sub>0,58</sub> Ti<sub>0,47</sub> Si<sub>0,34</sub> As<sub>0,25</sub> Ga<sub>0,21</sub> (Y,Zr)<sub>0,10</sub></u> Pb <sub>0,03</sub> (Mg,P) <sub>0,01</sub> Cr <sub>-0,28</sub> S <sub>-0,30</sub> Zn <sub>-0,37</sub> Cu <sub>-0,39</sub> Ca <sub>-0,47</sub> <u>Ni<sub>-0,52</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>P<sub>0,60</sub> As<sub>0,54</sub> Ca<sub>0,44</sub> Pb<sub>0,43</sub> Ga<sub>0,41</sub> Sr<sub>0,35</sub> Zn<sub>-0,09</sub> S<sub>-0,21</sub> Y<sub>-0,24</sub> Ni<sub>-0,36</sub></u> Cu <sub>-0,44</sub> Ti <sub>-0,50</sub> Cr <sub>-0,51</sub> <u>Rb<sub>-0,57</sub> Zr<sub>-0,60</sub> Mg<sub>-0,62</sub> Al<sub>-0,65</sub> Si<sub>-0,66</sub> K<sub>-0,76</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ca<sub>0,52</sub> Zn<sub>0,46</sub> Cu<sub>0,21</sub> P<sub>0,17</sub> Rb<sub>0,10</sub> Sr<sub>0,02</sub> As<sub>-0,08</sub> Pb<sub>-0,15</sub> Ga<sub>-0,16</sub> S<sub>-0,23</sub></u> Cr <sub>-0,24</sub> <u>Mg<sub>-0,24</sub> Ni<sub>-0,27</sub> Y<sub>-0,28</sub> K<sub>-0,30</sub> Ti<sub>-0,30</sub> Si<sub>-0,37</sub> Al<sub>-0,47</sub> Zr<sub>-0,48</sub></u>
S	наилки, n = 23	<u>Cr<sub>0,76</sub> Mg<sub>0,71</sub> Ni<sub>0,66</sub> Pb<sub>0,64</sub> P<sub>0,52</sub> Si<sub>0,48</sub> Sr<sub>0,33</sub> Ca<sub>0,25</sub> Cu<sub>0,24</sub> Zn<sub>0,17</sub></u> K <sub>-0,02</sub> (Rb,Zr) <sub>-0,12</sub> Y <sub>-0,23</sub> (Ti,Ga) <sub>-0,24</sub> As <sub>-0,25</sub> Al <sub>0,31</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Sr<sub>0,82</sub> Ca<sub>0,74</sub> Si<sub>0,65</sub> As<sub>0,62</sub> K<sub>0,44</sub> Cu<sub>0,43</sub> Pb<sub>0,39</sub> P<sub>0,38</sub> (Zn,Ga)<sub>0,30</sub></u> Cr <sub>0,13</sub> (Ni,Al) <sub>0,10</sub> Ti <sub>0,08</sub> Rb <sub>-0,05</sub> Y <sub>-0,15</sub> Mg <sub>-0,25</sub> Zr <sub>-0,37</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Ca<sub>0,81</sub> Cu<sub>0,75</sub> Zn<sub>0,74</sub> Pb<sub>0,71</sub> Ni<sub>0,70</sub> Cr<sub>0,64</sub> P<sub>0,54</sub> As<sub>0,09</sub> Mg<sub>-0,03</sub> Si<sub>-0,19</sub></u> K <sub>-0,33</sub> Sr <sub>-0,35</sub> Ga <sub>-0,38</sub> Ti <sub>-0,39</sub> Al <sub>-0,46</sub> <u>Rb<sub>-0,53</sub> Zr<sub>-0,61</sub> Y<sub>-0,66</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Sr<sub>0,61</sub> Mg<sub>0,56</sub> Al<sub>0,50</sub> Cu<sub>0,49</sub> Si<sub>0,48</sub> Cr<sub>0,40</sub> Ca<sub>0,39</sub> K<sub>0,38</sub> Ni<sub>0,30</sub> Zn<sub>0,19</sub></u> Rb <sub>0,09</sub> P <sub>-0,06</sub> (Ti,Zr) <sub>-0,09</sub> (As,Ga) <sub>-0,17</sub> Pb <sub>-0,34</sub> Y <sub>-0,49</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Cr<sub>0,58</sub> Ni<sub>0,53</sub> Cu<sub>0,44</sub> P<sub>0,38</sub> Zn<sub>0,32</sub> Sr<sub>0,22</sub> Ca<sub>0,21</sub> Mg<sub>0,18</sub> (As,Pb)<sub>0,16</sub></u> Si <sub>0,12</sub> Al <sub>0,09</sub> K <sub>0,08</sub> Ga <sub>-0,06</sub> Ti <sub>-0,07</sub> Zr <sub>-0,11</sub> (Rb,Y) <sub>-0,13</sub>
P	наилки, n = 23	<u>Ca<sub>0,50</sub> Zn<sub>0,45</sub> Sr<sub>0,37</sub> Cr<sub>0,30</sub> Mg<sub>0,27</sub> Rb<sub>0,18</sub> Al<sub>0,11</sub> Ni<sub>0,10</sub> As<sub>0,08</sub></u> (Si,Pb) <sub>0,05</sub> K <sub>-0,01</sub> Y <sub>-0,08</sub> Ti <sub>-0,18</sub> Cu <sub>-0,19</sub> Zr <sub>-0,22</sub> Ga <sub>-0,27</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	Pb <sub>0,37</sub> Ca <sub>0,33</sub> Zn <sub>0,28</sub> (Ni,Cr) <sub>0,27</sub> (Sr,Cu) <sub>0,26</sub> Mg <sub>0,13</sub> Si <sub>0,07</sub> Al <sub>0,01</sub> As <sub>-0,03</sub> Zr <sub>-0,08</sub> K <sub>-0,10</sub> Ti <sub>-0,12</sub> Ga <sub>-0,14</sub> Rb <sub>-0,23</sub> Y <sub>-0,37</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Cr<sub>0,76</sub> Cu<sub>0,72</sub> Ni<sub>0,66</sub> Zn<sub>0,59</sub> Ca<sub>0,37</sub> Pb<sub>0,30</sub> Si<sub>0,13</sub> (Rb,Ti)<sub>-0,10</sub> Al<sub>-0,14</sub></u> K <sub>-0,16</sub> (Sr,As,Zr) <sub>-0,21</sub> (Ga,Mg) <sub>-0,27</sub> <u>Y<sub>-0,52</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Ca<sub>0,76</sub> Pb<sub>0,65</sub> As<sub>0,56</sub> Ga<sub>0,38</sub> Zn<sub>0,25</sub> Sr<sub>0,01</sub> Y<sub>-0,07</sub> Ni<sub>-0,09</sub> Cu<sub>-0,10</sub></u> Mg <sub>-0,25</sub> Cr <sub>-0,37</sub> Rb <sub>-0,41</sub> <u>Zr<sub>-0,55</sub> Si<sub>-0,70</sub> Al<sub>-0,72</sub> K<sub>-0,75</sub> Ti<sub>-0,91</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Cr<sub>0,44</sub> Zn<sub>0,41</sub> Ca<sub>0,37</sub> Ni<sub>0,33</sub> Pb<sub>0,29</sub> (Cu,Sr)<sub>0,18</sub> Mg<sub>0,13</sub> As<sub>0,06</sub> Si<sub>-0,01</sub></u> Rb <sub>-0,05</sub> Al <sub>-0,07</sub> K <sub>-0,14</sub> Ga <sub>-0,15</sub> Y <sub>-0,19</sub> Zr <sub>-0,20</sub> <u>Ti<sub>-0,22</sub></u>

Примечание: подчёркнутые значения r достоверны при P = 0,95.

Продолжение приложения 6

Продолжение таблицы 27

Ca	наилки, n = 23	<u>Zn<sub>0,79</sub></u> Ni <sub>0,20</sub> Sr <sub>0,11</sub> (Pb,Cu) <sub>0,10</sub> Mg <sub>0,01</sub> As <sub>0,01</sub> Cr <sub>0,12</sub> Rb <sub>0,16</sub> Si <sub>0,32</sub> Ga <sub>0,42</sub> K <sub>0,49</sub> <u>Al<sub>0,58</sub></u> <u>Y<sub>0,60</sub></u> <u>Ti<sub>0,63</sub></u> <u>Zr<sub>0,74</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Sr<sub>0,62</sub></u> <u>Zn<sub>0,59</sub></u> <u>Cu<sub>0,48</sub></u> As <sub>0,45</sub> Pb <sub>0,37</sub> Ni <sub>0,18</sub> Si <sub>0,16</sub> Cr <sub>0,10</sub> (K,Ga) <sub>0,03</sub> Mg <sub>0,21</sub> Rb <sub>0,30</sub> Al <sub>0,36</sub> <u>Ti<sub>0,42</sub></u> <u>Y<sub>0,45</sub></u> <u>Zr<sub>0,65</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Zn<sub>0,66</sub></u> <u>Ni<sub>0,59</sub></u> <u>Cu<sub>0,52</sub></u> Pb <sub>0,39</sub> Cr <sub>0,36</sub> Mg <sub>0,15</sub> As <sub>0,10</sub> Si <sub>0,22</sub> Ga <sub>0,43</sub> <u>Y<sub>0,58</sub></u> <u>Zr<sub>0,62</sub></u> <u>Al<sub>0,63</sub></u> <u>K<sub>0,67</sub></u> (Sr,Ti) <sub>0,72</sub> Rb <sub>0,76</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	(As,Pb) <sub>0,45</sub> Sr <sub>0,43</sub> Zn <sub>0,32</sub> Cu <sub>0,15</sub> Ni <sub>0,03</sub> (Mg,Ga) <sub>0,02</sub> Cr <sub>0,26</sub> Y <sub>0,29</sub> Rb <sub>0,39</sub> (Al,Si) <sub>0,45</sub> K <sub>0,46</sub> <u>Zr<sub>0,62</sub></u> <u>Ti<sub>0,82</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Zn<sub>0,72</sub></u> <u>Cu<sub>0,38</sub></u> <u>Ni<sub>0,31</sub></u> Pb <sub>0,11</sub> Mg <sub>0,08</sub> (Cr,Sr) <sub>0,07</sub> As <sub>0,06</sub> Ga <sub>0,22</sub> <u>Si<sub>0,30</sub></u> <u>Rb<sub>0,39</sub></u> <u>K<sub>0,49</sub></u> <u>Al<sub>0,63</sub></u> <u>Y<sub>0,64</sub></u> <u>Ti<sub>0,70</sub></u> <u>Zr<sub>0,75</sub></u>
K	наилки, n = 23	<u>Ti<sub>0,90</sub></u> <u>Al<sub>0,87</sub></u> <u>Y<sub>0,86</sub></u> <u>Zr<sub>0,84</sub></u> <u>Rb<sub>0,77</sub></u> <u>Sr<sub>0,71</sub></u> <u>Si<sub>0,67</sub></u> Ga <sub>0,40</sub> As <sub>0,03</sub> Cr <sub>0,04</sub> Mg <sub>0,12</sub> Pb <sub>0,30</sub> Zn <sub>0,39</sub> <u>Ni<sub>0,48</sub></u> <u>Cu<sub>0,50</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Si<sub>0,89</sub></u> <u>Al<sub>0,85</sub></u> <u>Ti<sub>0,83</sub></u> <u>Rb<sub>0,66</sub></u> <u>Sr<sub>0,57</sub></u> <u>Y<sub>0,54</sub></u> <u>Zr<sub>0,53</sub></u> Ga <sub>0,47</sub> As <sub>0,33</sub> Cr <sub>0,10</sub> Pb <sub>0,01</sub> Mg <sub>0,08</sub> Cu <sub>0,11</sub> Ni <sub>0,12</sub> Zn <sub>0,13</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Sr<sub>0,92</sub></u> <u>Al<sub>0,89</sub></u> <u>Rb<sub>0,85</sub></u> <u>Ti<sub>0,82</sub></u> <u>Y<sub>0,48</sub></u> Zr <sub>0,47</sub> (As,Ga) <sub>0,42</sub> Si <sub>0,13</sub> Mg <sub>0,03</sub> Cr <sub>0,05</sub> Pb <sub>0,06</sub> Cu <sub>0,21</sub> Zn <sub>0,35</sub> Ni <sub>0,40</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Al<sub>0,85</sub></u> <u>Si<sub>0,83</sub></u> <u>Ti<sub>0,77</sub></u> <u>Rb<sub>0,69</sub></u> <u>Mg<sub>0,65</sub></u> <u>Zr<sub>0,54</sub></u> Cr <sub>0,47</sub> Cu <sub>0,29</sub> Ni <sub>0,28</sub> Y <sub>0,18</sub> Zn <sub>0,03</sub> Sr <sub>0,04</sub> Ga <sub>0,45</sub> <u>Pb<sub>0,55</sub></u> As <sub>0,56</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Al<sub>0,90</sub></u> <u>Ti<sub>0,86</sub></u> <u>Rb<sub>0,75</sub></u> <u>Zr<sub>0,69</sub></u> <u>Sr<sub>0,66</sub></u> (Y,Si) <sub>0,65</sub> Ga <sub>0,35</sub> As <sub>0,25</sub> Cr <sub>0,07</sub> Mg <sub>0,07</sub> Pb <sub>0,17</sub> <u>Ni<sub>0,28</sub></u> <u>Cu<sub>0,32</sub></u> <u>Zn<sub>0,36</sub></u>
Si	наилки, n = 23	<u>Sr<sub>0,75</sub></u> <u>Al<sub>0,73</sub></u> <u>Cr<sub>0,50</sub></u> <u>Zr<sub>0,47</sub></u> <u>Ti<sub>0,42</sub></u> Pb <sub>0,41</sub> (Y,Mg) <sub>0,39</sub> Rb <sub>0,37</sub> Ga <sub>0,21</sub> Ni <sub>0,20</sub> Cu <sub>0,03</sub> As <sub>0,14</sub> Zn <sub>0,31</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	(Al,Sr) <sub>0,77</sub> <u>Ti<sub>0,67</sub></u> As <sub>0,46</sub> Rb <sub>0,39</sub> Ga <sub>0,35</sub> Zr <sub>0,33</sub> Y <sub>0,27</sub> Cr <sub>0,19</sub> Pb <sub>0,17</sub> Cu <sub>0,11</sub> Ni <sub>0,04</sub> Mg <sub>0,03</sub> Zn <sub>0,04</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	Rb <sub>0,36</sub> Zr <sub>0,33</sub> Al <sub>0,24</sub> Ti <sub>0,23</sub> Sr <sub>0,12</sub> Cr <sub>0,08</sub> Pb <sub>0,01</sub> Ni <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,07</sub> Zn <sub>0,12</sub> Y <sub>0,16</sub> (Ga,Mg) <sub>0,17</sub> As <sub>0,50</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Al<sub>0,95</sub></u> <u>Zr<sub>0,76</sub></u> <u>Mg<sub>0,71</sub></u> Ti <sub>0,64</sub> Rb <sub>0,44</sub> Cr <sub>0,38</sub> (Cu,Y) <sub>0,12</sub> Ni <sub>0,06</sub> Sr <sub>0,05</sub> Ga <sub>0,26</sub> Zn <sub>0,29</sub> <u>As<sub>0,69</sub></u> <u>Pb<sub>0,78</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Al<sub>0,68</sub></u> <u>Sr<sub>0,58</sub></u> <u>Ti<sub>0,54</sub></u> <u>Zr<sub>0,51</sub></u> <u>Rb<sub>0,44</sub></u> <u>Y<sub>0,33</sub></u> Cr <sub>0,20</sub> Mg <sub>0,19</sub> Ga <sub>0,13</sub> Ni <sub>0,01</sub> Pb <sub>0,06</sub> As <sub>0,07</sub> Cu <sub>0,09</sub> <u>Zn<sub>0,28</sub></u>
Al	наилки, n = 23	<u>Zr<sub>0,83</sub></u> <u>Ti<sub>0,78</sub></u> <u>Y<sub>0,76</sub></u> <u>Sr<sub>0,59</sub></u> <u>Rb<sub>0,55</sub></u> Cr <sub>0,36</sub> Ga <sub>0,28</sub> Mg <sub>0,27</sub> Pb <sub>0,03</sub> (Ni,As) <sub>0,15</sub> Cu <sub>0,27</sub> <u>Zn<sub>0,48</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Ti<sub>0,85</sub></u> <u>Zr<sub>0,77</sub></u> <u>Rb<sub>0,65</sub></u> <u>Y<sub>0,52</sub></u> Sr <sub>0,35</sub> Ga <sub>0,21</sub> Cr <sub>0,18</sub> Mg <sub>0,08</sub> As <sub>0,07</sub> Ni <sub>0,07</sub> Pb <sub>0,09</sub> Zn <sub>0,26</sub> Cu <sub>0,28</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Rb<sub>0,82</sub></u> <u>Ti<sub>0,80</sub></u> <u>Sr<sub>0,79</sub></u> <u>Zr<sub>0,62</sub></u> <u>Y<sub>0,56</sub></u> As <sub>0,40</sub> Ga <sub>0,36</sub> Mg <sub>0,08</sub> Cr <sub>0,10</sub> Cu <sub>0,31</sub> Pb <sub>0,39</sub> Ni <sub>0,45</sub> Zn <sub>0,46</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Mg<sub>0,77</sub></u> <u>Ti<sub>0,67</sub></u> <u>Zr<sub>0,63</sub></u> Cr <sub>0,48</sub> Rb <sub>0,38</sub> Cu <sub>0,27</sub> Ni <sub>0,21</sub> Sr <sub>0,07</sub> Y <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,15</sub> Ga <sub>0,31</sub> <u>As<sub>0,72</sub></u> <u>Pb<sub>0,82</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ti<sub>0,84</sub></u> <u>Zr<sub>0,80</sub></u> <u>Y<sub>0,65</sub></u> <u>Rb<sub>0,63</sub></u> <u>Sr<sub>0,55</sub></u> Ga <sub>0,24</sub> As <sub>0,18</sub> (Cr,Mg) <sub>0,12</sub> (Ni,Pb) <sub>0,22</sub> Cu <sub>0,32</sub> <u>Zn<sub>0,47</sub></u>

Примечание: подчёркнутые значения r достоверны при P = 0,95.

Продолжение приложения 6

Продолжение таблицы 27

Mg	наилки, n = 23	<u>Cr<sub>0,80</sub></u> <u>Ni<sub>0,75</sub></u> <u>Pb<sub>0,62</sub></u> <u>Cu<sub>0,49</sub></u> Zn <sub>0,04</sub> Zr <sub>0,07</sub> Sr <sub>0,11</sub> Y <sub>0,16</sub> Ga <sub>0,22</sub> (As,Rb,Ti) <sub>0,24</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	Zr <sub>0,39</sub> Pb <sub>0,21</sub> Ti <sub>0,20</sub> Cr <sub>0,19</sub> (Ni,Cu) <sub>0,14</sub> Zn <sub>0,08</sub> Rb <sub>0,13</sub> Sr <sub>0,20</sub> Y <sub>0,22</sub> Ga <sub>0,27</sub> As <sub>0,28</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>As<sub>0,61</sub></u> Ti <sub>0,12</sub> Sr <sub>0,03</sub> Zn <sub>0,01</sub> Y <sub>0,02</sub> Ga <sub>0,03</sub> Cu <sub>0,10</sub> Ni <sub>0,11</sub> Pb <sub>0,13</sub> Cr <sub>0,17</sub> Rb <sub>0,19</sub> Zr <sub>0,23</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	Zr <sub>0,43</sub> Cu <sub>0,34</sub> Rb <sub>0,33</sub> Cr <sub>0,30</sub> Ni <sub>0,25</sub> Ti <sub>0,18</sub> Y <sub>0,05</sub> Zn <sub>0,01</sub> Sr <sub>0,15</sub> Ga <sub>0,29</sub> As <sub>0,56</sub> <u>Pb<sub>0,67</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ni<sub>0,40</sub></u> <u>Cu<sub>0,37</sub></u> <u>Cr<sub>0,25</sub></u> Zn <sub>0,05</sub> Pb <sub>0,02</sub> Sr <sub>0,01</sub> Zr <sub>0,05</sub> As <sub>0,11</sub> Ti <sub>0,15</sub> Ga <sub>0,18</sub> (Rb,Y) <sub>0,19</sub>
Ti	наилки, n = 23	<u>Zr<sub>0,88</sub></u> <u>Y<sub>0,87</sub></u> <u>Rb<sub>0,73</sub></u> <u>Sr<sub>0,48</sub></u> Ga <sub>0,41</sub> As <sub>0,09</sub> Cr <sub>0,19</sub> <u>Zn<sub>0,45</sub></u> <u>Pb<sub>0,49</sub></u> <u>Cu<sub>0,58</sub></u> <u>Ni<sub>0,64</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Zr<sub>0,75</sub></u> <u>Rb<sub>0,73</sub></u> <u>Y<sub>0,62</sub></u> <u>Ga<sub>0,42</sub></u> Sr <sub>0,25</sub> As <sub>0,09</sub> Cr <sub>0,05</sub> Pb <sub>0,13</sub> Ni <sub>0,24</sub> Cu <sub>0,28</sub> Zn <sub>0,31</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Sr<sub>0,81</sub></u> <u>Rb<sub>0,67</sub></u> <u>Zr<sub>0,64</sub></u> <u>Y<sub>0,50</sub></u> As <sub>0,39</sub> Ga <sub>0,24</sub> Cr <sub>0,10</sub> Cu <sub>0,07</sub> Pb <sub>0,16</sub> Ni <sub>0,22</sub> Zn <sub>0,30</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Zr<sub>0,58</sub></u> <u>Rb<sub>0,53</sub></u> Cr <sub>0,32</sub> Y <sub>0,31</sub> Ni <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,03</sub> Sr <sub>0,12</sub> Zn <sub>0,18</sub> Ga <sub>0,24</sub> As <sub>0,47</sub> Pb <sub>0,48</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Zr<sub>0,81</sub></u> <u>Y<sub>0,73</sub></u> <u>Rb<sub>0,71</sub></u> <u>Sr<sub>0,41</sub></u> <u>Ga<sub>0,28</sub></u> As <sub>0,15</sub> Cr <sub>0,02</sub> Pb <sub>0,19</sub> <u>Ni<sub>0,37</sub></u> <u>Cu<sub>0,42</sub></u> <u>Zn<sub>0,48</sub></u>
Ga	наилки, n = 23	<u>Zr<sub>0,52</sub></u> Y <sub>0,32</sub> (Rb,Sr) <sub>0,18</sub> As <sub>0,02</sub> Cr <sub>0,14</sub> Pb <sub>0,23</sub> Ni <sub>0,25</sub> Cu <sub>0,26</sub> <u>Zn<sub>0,46</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	Rb <sub>0,39</sub> (As,Y) <sub>0,28</sub> Sr <sub>0,22</sub> (Zr,Pb) <sub>0,20</sub> Cu <sub>0,15</sub> Cr <sub>0,01</sub> Zn <sub>0,04</sub> Ni <sub>0,10</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Sr<sub>0,59</sub></u> <u>Y<sub>0,57</sub></u> Rb <sub>0,40</sub> Zr <sub>0,25</sub> As <sub>0,02</sub> Pb <sub>0,19</sub> (Cr,Cu) <sub>0,37</sub> Zn <sub>0,45</sub> Ni <sub>0,48</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	Sr <sub>0,08</sub> Pb <sub>0,03</sub> Y <sub>0,01</sub> As <sub>0,16</sub> Zr <sub>0,17</sub> Rb <sub>0,21</sub> (Cr,Zn) <sub>0,26</sub> (Cu,Ni) <sub>0,38</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Sr<sub>0,32</sub></u> <u>Y<sub>0,31</sub></u> <u>Rb<sub>0,26</sub></u> <u>Zr<sub>0,24</sub></u> As <sub>0,12</sub> Pb <sub>0,01</sub> Cr <sub>0,16</sub> Cu <sub>0,19</sub> <u>Ni<sub>0,26</sub></u> <u>Zn<sub>0,27</sub></u>
Zr	наилки, n = 23	<u>Y<sub>0,84</sub></u> <u>Rb<sub>0,43</sub></u> Sr <sub>0,39</sub> Cr <sub>0,02</sub> As <sub>0,03</sub> Pb <sub>0,25</sub> Cu <sub>0,30</sub> Ni <sub>0,38</sub> <u>Zn<sub>0,71</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Y<sub>0,58</sub></u> <u>Rb<sub>0,54</sub></u> Cr <sub>0,07</sub> Sr <sub>0,11</sub> Ni <sub>0,12</sub> Pb <sub>0,18</sub> As <sub>0,32</sub> Cu <sub>0,36</sub> <u>Zn<sub>0,40</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Y<sub>0,74</sub></u> <u>Rb<sub>0,53</sub></u> <u>Sr<sub>0,48</sub></u> Cr <sub>0,04</sub> Cu <sub>0,20</sub> As <sub>0,24</sub> Ni <sub>0,26</sub> Zn <sub>0,44</sub> <u>Pb<sub>0,55</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Y<sub>0,54</sub></u> Rb <sub>0,42</sub> Cr <sub>0,16</sub> Ni <sub>0,07</sub> Cu <sub>0,17</sub> Zn <sub>0,37</sub> Sr <sub>0,41</sub> As <sub>0,53</sub> <u>Pb<sub>0,56</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Y<sub>0,76</sub></u> <u>Rb<sub>0,52</sub></u> <u>Sr<sub>0,22</sub></u> As <sub>0,02</sub> Cr <sub>0,01</sub> <u>Pb<sub>0,22</sub></u> <u>Ni<sub>0,29</sub></u> <u>Cu<sub>0,38</sub></u> <u>Zn<sub>0,60</sub></u>
Y	наилки, n = 23	<u>Rb<sub>0,69</sub></u> <u>Sr<sub>0,45</sub></u> As <sub>0,01</sub> Cr <sub>0,14</sub> Pb <sub>0,39</sub> <u>Zn<sub>0,52</sub></u> <u>Cu<sub>0,57</sub></u> <u>Ni<sub>0,58</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Rb<sub>0,71</sub></u> (Sr,As) <sub>0,01</sub> <u>Cr<sub>0,42</sub></u> <u>Zn<sub>0,48</sub></u> <u>Ni<sub>0,51</sub></u> <u>Pb<sub>0,59</sub></u> <u>Cu<sub>0,67</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Sr<sub>0,54</sub></u> Rb <sub>0,48</sub> As <sub>0,16</sub> Cr <sub>0,39</sub> Cu <sub>0,46</sub> <u>Ni<sub>0,50</sub></u> <u>Pb<sub>0,55</sub></u> <u>Zn<sub>0,57</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	Rb <sub>0,40</sub> Pb <sub>0,12</sub> As <sub>0,08</sub> Zn <sub>0,22</sub> Ni <sub>0,38</sub> Cr <sub>0,42</sub> <u>Cu<sub>0,53</sub></u> <u>Sr<sub>0,64</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Rb<sub>0,65</sub></u> <u>Sr<sub>0,26</sub></u> As <sub>0,23</sub> Pb <sub>0,09</sub> <u>Cr<sub>0,23</sub></u> <u>Ni<sub>0,50</sub></u> <u>Zn<sub>0,56</sub></u> <u>Cu<sub>0,59</sub></u>

Примечание: подчёркнутые значения r достоверны при P = 0,95.

Продолжение приложения 6

Окончание таблицы 27

Sr	наилки, n = 23	<u>Rb<sub>0,65</sub></u> Cr <sub>0,15</sub> Zn <sub>0,07</sub> Pb <sub>0,03</sub> As <sub>-0,01</sub> Ni <sub>-0,17</sub> Cu <sub>-0,39</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	As <sub>0,64</sub> Cu <sub>0,25</sub> Zn <sub>0,24</sub> Pb <sub>0,20</sub> Rb <sub>0,13</sub> Cr <sub>0,11</sub> Ni <sub>0,04</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Rb<sub>0,81</sub></u> As <sub>0,38</sub> Pb <sub>-0,05</sub> Cr <sub>-0,11</sub> Cu <sub>-0,25</sub> Ni <sub>-0,46</sub> Zn <sub>-0,48</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	Cu <sub>0,24</sub> Cr <sub>0,19</sub> Zn <sub>0,06</sub> Ni <sub>0,05</sub> Pb <sub>-0,04</sub> As <sub>-0,09</sub> Rb <sub>-0,35</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Rb<sub>0,44</sub></u> <u>As<sub>0,37</sub></u> Cr <sub>0,09</sub> Pb <sub>0,03</sub> Zn <sub>-0,03</sub> Ni <sub>-0,13</sub> Cu <sub>-0,17</sub>
Rb	наилки, n = 23	Zn <sub>0,15</sub> As <sub>0,08</sub> Cr <sub>-0,27</sub> <u>Pb<sub>-0,51</sub></u> <u>Ni<sub>-0,71</sub></u> <u>Cu<sub>-0,79</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	As <sub>-0,02</sub> Cr <sub>-0,25</sub> Zn <sub>-0,32</sub> Pb <sub>-0,36</sub> <u>Ni<sub>-0,50</sub></u> <u>Cu<sub>-0,59</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	As <sub>0,13</sub> Pb <sub>-0,18</sub> Cr <sub>-0,24</sub> Cu <sub>-0,41</sub> <u>Zn<sub>-0,53</sub></u> <u>Ni<sub>-0,56</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	Cr <sub>0,30</sub> Zn <sub>0,20</sub> Cu <sub>0,08</sub> Pb <sub>-0,03</sub> As <sub>-0,04</sub> Ni <sub>-0,27</sub>
	генеральная выборка, n = 80	As <sub>0,12</sub> Cr <sub>-0,15</sub> Pb <sub>-0,16</sub> Zn <sub>-0,19</sub> <u>Ni<sub>-0,49</sub></u> <u>Cu<sub>-0,58</sub></u>
As	наилки, n = 23	Zn <sub>0,03</sub> Cu <sub>-0,09</sub> Ni <sub>-0,17</sub> Pb <sub>-0,22</sub> Cr <sub>-0,32</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Cu<sub>0,49</sub></u> Pb <sub>0,36</sub> Cr <sub>0,29</sub> Zn <sub>0,19</sub> Ni <sub>0,05</sub>
	глеевые горизонты, n = 17	Pb <sub>0,02</sub> Cr <sub>-0,02</sub> Zn <sub>-0,04</sub> Cu <sub>-0,17</sub> Ni <sub>-0,21</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Pb<sub>0,90</sub></u> <u>Zn<sub>0,80</sub></u> Ni <sub>0,15</sub> Cu <sub>-0,33</sub> Cr <sub>-0,52</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Pb<sub>0,49</sub></u> Zn <sub>-0,06</sub> Cr <sub>-0,14</sub> Cu <sub>-0,15</sub> Ni <sub>-0,16</sub>
Cr	наилки, n = 23	<u>Ni<sub>0,75</sub></u> <u>Pb<sub>0,71</sub></u> <u>Cu<sub>0,43</sub></u> Zn <sub>-0,19</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Ni<sub>0,90</sub></u> <u>Pb<sub>0,77</sub></u> <u>Cu<sub>0,63</sub></u> <u>Zn<sub>0,68</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Cu<sub>0,95</sub></u> <u>Ni<sub>0,87</sub></u> <u>Zn<sub>0,73</sub></u> Pb <sub>0,40</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Cu<sub>0,84</sub></u> <u>Ni<sub>0,86</sub></u> <u>Zn<sub>0,59</sub></u> Pb <sub>-0,34</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Cu<sub>0,66</sub></u> <u>Ni<sub>0,81</sub></u> <u>Zn<sub>0,39</sub></u> Pb <sub>0,18</sub>
Pb	наилки, n = 23	<u>Ni<sub>0,81</sub></u> <u>Cu<sub>0,66</sub></u> Zn <sub>-0,11</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Cu<sub>0,83</sub></u> <u>Ni<sub>0,72</sub></u> <u>Zn<sub>0,54</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Zn<sub>0,52</sub></u> <u>Cu<sub>0,49</sub></u> Ni <sub>0,42</sub>
	глееватые слои аллювия, n = 15	Zn <sub>0,37</sub> Ni <sub>-0,06</sub> Cu <sub>-0,17</sub>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ni<sub>0,24</sub></u> <u>Cu<sub>0,20</sub></u> Zn <sub>0,13</sub>
Zn	наилки, n = 23	Ni <sub>-0,05</sub> Cu <sub>-0,12</sub>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Ni<sub>0,75</sub></u> <u>Cu<sub>0,58</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Ni<sub>0,93</sub></u> <u>Cu<sub>0,78</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Ni<sub>0,86</sub></u> <u>Cu<sub>0,73</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ni<sub>0,54</sub></u> <u>Cu<sub>0,40</sub></u>
Cu	наилки, n = 23	<u>Ni<sub>0,79</sub></u>
	поверхностные горизонты, n = 25	<u>Ni<sub>0,68</sub></u>
	глеевые горизонты, n = 17	<u>Ni<sub>0,91</sub></u>
	глееватые слои аллювия, n = 15	<u>Ni<sub>0,90</sub></u>
	генеральная выборка, n = 80	<u>Ni<sub>0,82</sub></u>

Примечание: подчёркнутые значения  $r$  достоверны при  $P = 0,95$ .

Продолжение приложения 6

Таблица 28

Валовой химический состав роренштейнов почв пойм малых рек г. Перми, мг/кг

Горизонт, глубина, см	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr
р. 80 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. Ива														
AУg,ur,x 0-15	76	23	75	9	31	25	453	1966	50545	32	35	нпо	2630	188
р. 90 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Егошиха														
G <sup>~</sup> ,X 15-30	314	65	479	нпо	441	114	199	2392	316018	18	48	нпо	4463	185
р. 100 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Данилиха														
AУg,ur,X 0-22	343	100	568	9	264	156	307	2245	142128	22	42	нпо	4067	182
р. 110 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. В. Мулянка														
AУg,ur,X 0-10	235	57	246	11	154	146	247	1920	271149	16	45	13	4720	169
C1g <sup>~</sup> ,X10-30	260	25	137	14	95	108	339	1618	160826	21	49	нпо	4708	183
G <sup>~</sup> ,X 30-70	60	107	321	нпо	215	177	193	2152	402037	14	51	16	3768	122
р. 111 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. В Мулянка														
G <sup>~</sup> ,X 40-80	203	18	109	27	99	74	385	2446	94127	21	56	21	4864	200
р. 120 урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, р. Ласьва														
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	888	1530	82	11	101	121	278	2105	104990	28	87	33	5391	220
C2g,h <sup>~</sup> ,X 30-50	262	41	55	27	58	42	221	3127	125520	32	63	21	5343	218
C3g <sup>~</sup> ,x 50-80	677	59	62	42	73	74	222	2260	119347	34	63	6	5181	248
C4g <sup>~</sup> ,x 80-100	116	27	96	13	67	56	210	1455	66042	33	67	15	5547	225

Окончание таблицы 28

Горизонт, глубина, см	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	ППП, %
р. 80 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. Ива								
AУg,ur,x 0-15	8352	30835	174023	6130	588	7727	186608	н/о
р. 90 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Егошиха								
G <sup>~</sup> ,X 15-30	3413	24196	162862	1059	656	9371	27506	8,268
р. 100 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Данилиха								
AУg,ur,X 0-22	5958	42553	240496	15400	3064	10732	36973	7,324
р. 110 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. В. Мулянка								
AУg,ur,X 0-10	5771	31296	173687	3017	1020	10574	29887	9,619
C1g <sup>~</sup> ,X10-30	6512	44034	221157	12356	880	12267	39733	9,091
G <sup>~</sup> ,X 30-70	3479	16769	107116	6414	872	7138	19827	10,568
р. 111 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. В Мулянка								
G <sup>~</sup> ,X 40-80	6416	55058	259008	13887	636	13471	37538	8,246
р. 120 урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, р. Ласьва								
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	11867	66405	280830	1565	676	23987	19691	2,936
C2g,h <sup>~</sup> ,X 30-50	8279	57740	271117	2747	592	14160	16252	5,616
C3g <sup>~</sup> ,x 50-80	7182	57698	274241	3187	520	13853	17603	5,939
C4g <sup>~</sup> ,x 80-100	8641	68304	304573	1543	620	16343	16574	5,020

Примечание: нпо - ниже предела обнаружения. Концентрация химических элементов в образцах роренштейнов приведена по данным Водяницкого, Васильева, Васова [48].

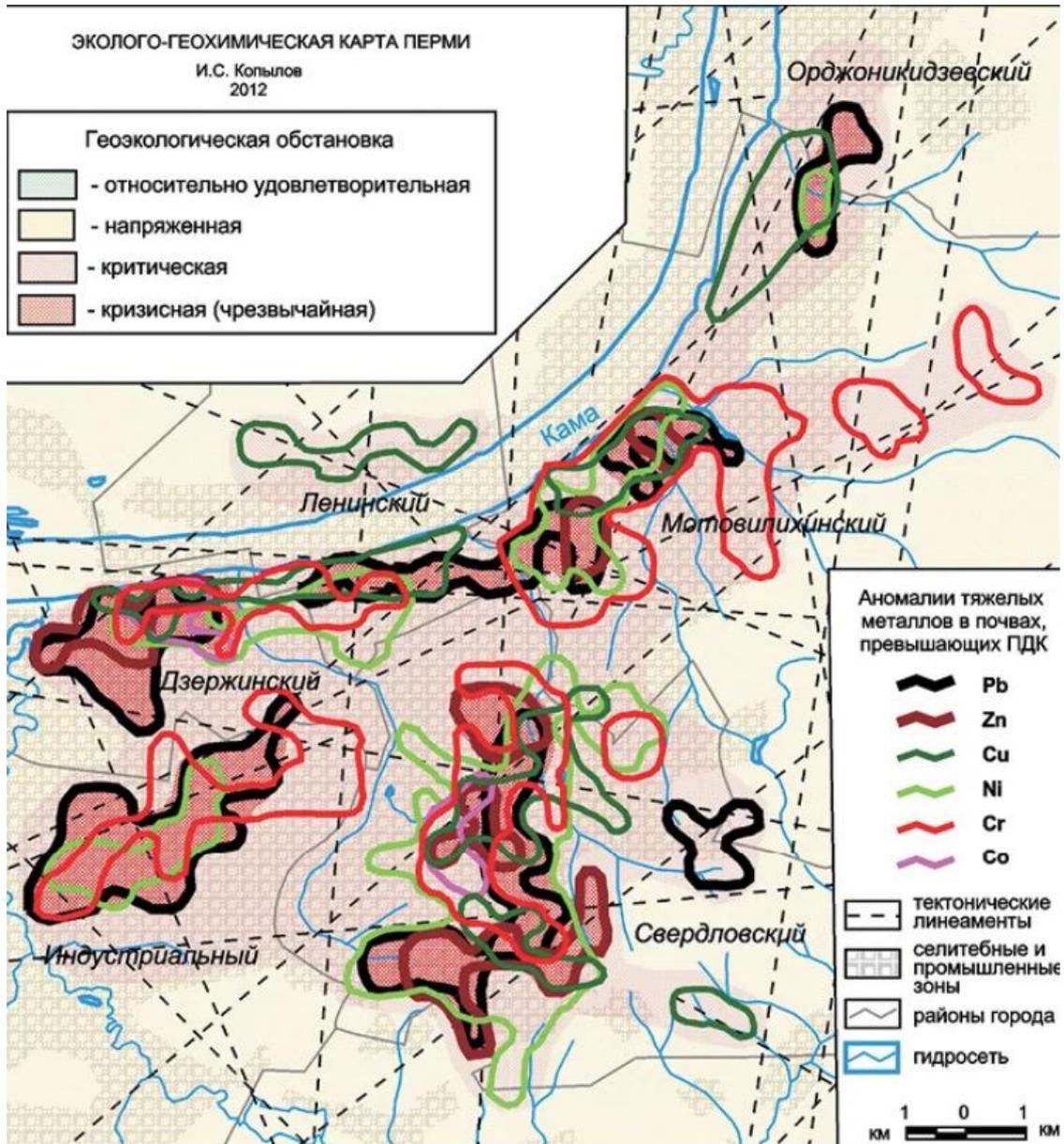
## Окончание приложения 6

Таблица 29

Коэффициенты накопления химических элементов  $K_X$  в роренштейнах почв пойм малых рек города Перми

Горизонт, глубина, см	Zn	Pb	Cr	As	Ni	Cu	Sr	Mn	Fe	Y	Rb	Ga	Ti	Zr	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
р. 80 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. Ива																					
AYg,ur,x 0-15	0,7	0,8	0,3	3,0	0,3	0,4	1,7	1,7	1,4	1,6	0,6	0,4	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6	15,6	1,3	0,5	7,2
р. 90 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Егошиха																					
G <sup>~</sup> ,X 15-30	0,8	4,1	1,1	0,3	1,4	1,3	0,7	3,8	8,5	0,8	0,9	0,2	1,0	0,7	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	0,6	1,0
р. 100 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. Данилиха																					
AYg,ur,X 0-22	1,0	1,1	0,9	3,0	1,0	1,3	1,1	3,9	3,9	1,3	0,8	0,2	0,9	0,8	0,6	0,7	0,8	9,6	2,5	0,8	1,3
р. 110 хемозём по урбо-аллювиальной серогумусовой глеевой почве, р. В. Мулянка																					
AYg,ur,X 0-10	2,3	2,5	4,5	2,8	1,9	2,6	0,8	2,3	6,9	0,7	0,9	3,3	1,1	0,6	0,5	0,5	0,6	1,4	0,9	0,8	0,8
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	2,3	1,2	1,8	2,0	1,5	1,5	1,2	2,0	4,0	0,8	0,9	0,2	1,3	0,8	0,5	0,7	0,7	7,4	0,5	0,9	1,1
G <sup>~</sup> ,X 30-70	0,4	5,4	4,3	1,0	3,4	2,7	0,7	2,0	9,8	0,6	0,9	1,0	0,9	0,5	0,4	0,2	0,4	2,7	0,3	0,5	0,6
р. 111 урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая химически загрязнённая почва, р. В Мулянка																					
G <sup>~</sup> ,X 40-80	1,4	1,1	1,8	3,0	1,3	1,4	1,4	3,0	2,6	0,8	1,0	1,8	1,2	0,7	0,7	0,8	0,8	20,0	0,4	1,0	1,2
р. 120 урбо-аллювиальная серогумусовая глееватая химически загрязнённая почва, р. Ласва																					
C1g <sup>~</sup> ,X 10-30	6,5	16,3	0,8	0,8	1,7	3,4	1,0	1,9	2,6	1,0	1,4	1,9	1,1	0,7	1,3	0,9	0,9	1,0	1,5	1,6	0,8
C2g,h <sup>~</sup> ,X 30-50	3,4	2,6	0,6	9,0	1,1	1,1	1,0	4,0	3,2	1,3	1,1	1,6	1,1	0,7	0,9	0,8	0,8	4,2	0,7	1,0	1,3
C3g <sup>~</sup> ,x 50-80	11,1	5,4	0,3	6,0	1,3	1,6	0,9	3,3	3,1	1,3	1,2	0,5	1,1	0,6	1,1	0,9	0,8	4,7	1,1	1,0	1,5
C4g <sup>~</sup> ,x 80-100	1,9	1,7	1,3	4,3	1,7	2,2	0,9	2,1	1,8	1,1	1,1	0,9	1,1	0,5	1,1	1,0	0,9	3,0	1,4	1,2	1,3
<i>среднее</i>	2,9	3,8	1,6	3,2	1,5	1,8	1,0	2,7	4,3	1,0	1,0	1,1	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	6,4	1,1	0,9	1,6

Эколого-геохимическая обстановка г. Перми [152]



Научное издание

**Васильев** Андрей Алексеевич, **Власов** Михаил Николаевич

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ  
ГОРОДСКИХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ  
ПОЙМ МАЛЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕРМИ

*Монография*

Подписано в печать 20.03.22. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 16,38. Тираж 30 экз. Заказ № 31

*ИПЦ «Трокростъ»*

Пермского государственного аграрно-технологического  
университета имени академика Д.Н. Прянишникова,  
614990, Россия, Пермь, ул. Петропавловская, 23