

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермская государственная сельскохозяйственная
академия имени академика Д.Н. Прянишникова»

А.А. Васильев, А.В. Романова

ЖЕЛЕЗО И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Монография

Пермь
ИПЦ «Прокростъ»
2014

УДК: 631.416.8

ББК:40.3

В-191

Рецензенты:

О.З. Еремченко, доктор биологических наук, профессор (Пермский государственный университет),

Р.Р. Гайфуллин, доктор сельскохозяйственных наук (Башкирский государственный аграрный университет)

В-191 Васильев, А.А. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья [Текст]: монография. / А.А. Васильев, А.В. Романова; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образоват. учреждение высшего проф. образов. «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. – 231 с.
ISBN 978-5-94279-210-7

В монографии изложены и обобщены сведения по проблеме генезиса аллювиальных почв и их загрязнению тяжелыми металлами. Рассмотрены характеристики процесса оксидогенеза железа, дана подробная оценка природных и антропогенных факторов формирования почв пойм рек Камы, Обвы и Верхней Мулянки. Рассмотрены морфологические и физико-химические свойства, гранулометрический и макроэлементный химический состав почв пойм. Дана характеристика окислительно-восстановительных условий трансформации соединений железа и аккумуляции тяжелых металлов: режима влажности, редокс-потенциала и актуальной кислотности. Охарактеризован фазовый состав минералов железа по данным магнитометрии, просвечивающей электронной микроскопии и анализа химических вытяжек. Установлена роль соединений железа в формировании цвета почвы. Оценено содержание тяжелых металлов в почвах и конкрециях на различных геоморфологических позициях пойм рек Среднего Предуралья.

Адресовано почвоведом, экологам, геохимикам, специалистам мелиоративных и земельно-кадастровых служб, студентам почвенных и экологических направлений подготовки высших учебных заведений.

УДК 631.416.8

ББК 40.3

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

ISBN 978-5-94279-210-7

©ИПЦ «Прокрость», 2014

© Васильев А.А., 2014

©Романова А.В., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
ГЛАВА 1. Состояние проблемы генезиса и классификации аллювиальных почв и оценка их эколого-геохимической роли.....	7
1.1. Генезис, классификация, свойства и режимы аллювиальных почв России.....	7
1.2. Характеристика оксидогенеза как почвообразовательного процесса.....	19
1.3. Эколого-геохимическое значение аллювиальных почв.....	40
ГЛАВА 2. Природно-техногенные и окислительно-восстановительные условия почвообразования в поймах рек Камы, Обвы и Верхней Мулянки.....	48
2.1. Условия почвообразования и аккумуляции тяжелых металлов (ТМ) в бассейнах рек.....	48
2.2. Состав и свойства почв пойм.....	61
2.3. Окислительно-восстановительные условия в аллювиальных почвах.....	98
ГЛАВА 3. Формы и степень развития оксидогенеза в аллювиальных почвах пойм рек Камы, Обвы и Верхней Мулянки.....	120
3.1. Фазовый состав минералов железа и марганца в почвах.....	120
3.2. Состояние минералов железа и марганца в почвах и конкрециях.....	126
3.3. Магнитная восприимчивость почв и конкреций..	140
ГЛАВА 4. Оксидогенез, оптические свойства и гидроморфизм аллювиальных почв пойм рек Камы, Обвы и Верхней Мулянки.....	147
4.1. Оптические свойства и гидроморфизм почв.....	147
4.2. Оксидогенез и гидроморфизм почв.....	163
ГЛАВА 5. Тяжелые металлы и оксидогенез в почвах пойм рек Камы, Обвы и Верхней Мулянки.....	166
5.1 Природно-техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами и мышьяком.....	166

5.2 Марганцево-железистые конкреции как концентраторы тяжелых металлов.....	180
5.3 Тяжелые металлы и показатели оксидогенеза.....	183
Заключение.....	186
Список литературы.....	189
Приложение 1. Комплексная экологическая оценка Пермского края по административным районам.....	218
Приложение 2. Корреляционная связь физико-химических свойств и подвижных форм ТМ в аллювиальных почвах.....	219
Приложение 3. Динамика влажности в аллювиальных почвах поймы р. Камы.....	220
Приложение 4. Зависимость Eh, рН и влажности от температуры в аллювиальных почвах.....	222
Приложение 5. Зависимость Eh и рН от влажности в аллювиальных почвах.....	223
Приложение 6. Электронно-микроскопические изображения (I) и микродифракционные картины (II) (гидр)оксидов железа в аллювиальных почвах.....	224
Приложение 7. Цветовое пространство в системе CIE- $L^*a^*b^*$	226
Приложение 8. Оптические характеристики некоторых минералов железа и марганца.....	227
Приложение 9. Валовой химический состав конкреций аллювиальных почв.....	228
Приложение 10. Валовое содержание ТМ в конкрециях аллювиальных почв.....	229
Приложение 11. Корреляционная связь показателей оксидогенеза с содержанием подвижных форм ТМ в аллювиальных почвах.....	230
Приложение 12. Корреляционная связь показателей оксидогенеза с содержанием ТМ в конкрециях аллювиальных почв.....	231

ВВЕДЕНИЕ

В структуре почвенного покрова Среднего Предуралья (Пермского края и Удмуртии) аллювиальные почвы занимают 6,4% (1268 тыс. га), в том числе 3,1% – кислые, 1,8% – нейтральные и слабощелочные, 1,5% – заболоченные [122, 198]. Природно-хозяйственное значение пойм рек велико: на них сосредоточены лучшие сенокосно-пастбищные угодья, выращиваются ценные овощные и кормовые культуры, в северных районах Пермского края – осуществляется заготовка древесины, в поймах многих рек сосредоточены запасы торфов – ценных органических удобрений. Большое народнохозяйственное и важное экологическое значение аллювиальных почв определяют актуальность изучения их генезиса и эколого-геохимической оценки.

Почвы пойм характеризуются значительной неоднородностью гидрологических условий почвообразования. Рациональное использование и охрана почв пойм предполагают обязательный учет их окислительно-восстановительного состояния [20, 88, 97]. Одним из важных направлений изучения полугидроморфных и гидроморфных почв таежно-лесной зоны России является анализ форм и интенсивности проявления в них оксидогенеза [26, 31, 38, 56, 218]. Несмотря на исследования А.А. Лютина [143], Н.Я. Коротаева [132], Ю.К. Попова [196], Ф.И. Пермякова [189], Б.Н. Нешатаева [162], А.И. Паутова [176, 178, 180, 181, 184], В.П. Ковриго [122] и др., процессы наследования, образования, накопления, трансформации оксидов и гидроксидов железа или оксидогенез [6, 59] в почвах пойм Среднего Предуралья исследованы только фрагментарно [155, 179, 196]. Железо является типоморфным элементом почв таежно-лесной зоны, а оценка состояния (гидр)оксидов железа в почвах на разных сегментах пойм позволяет уточнить генезис аллювиальных почв Среднего Предуралья и совершенствовать методы их диагностики.

(Гидр)оксиды железа, наряду с органическим веществом и глинистыми минералами, играют большую роль в адсорбции тяжелых металлов в почве [150, 185, 194 и др.] Железо в почвах находится в тесном парагенезе с марганцем, который по своим эколого-геохимическим свойствам также относится к тяжелым металлам. Поэтому процессы оксидогенеза железа и оксидогенеза марганца рассматриваются в монографии как парагенетические. Оценка степени развития техногенных форм оксидогенеза железа используется для выявления загрязнения почв тяжелыми металлами [90, 242]. Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами почв восточной окраины Русской равнины весьма актуальна [35, 43, 93, 122, 128, 136, 171, 256 и др.].

Авторы выражают признательность за сотрудничество и ценные консультации при подготовке материалов монографии д-ру. с.-х. наук Ю.Н. Водяницкому и благодарят за содействие в выполнении ряда экспериментальных работ д-ра. техн. наук Ю.Т. Платова, канд. физ.-мат. наук А.Т. Савичева, А.В. Сивцова, М.П. Ускову, а также студентов и учебно-вспомогательный персонал кафедры почвоведения ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА за помощь в проведении лабораторных и полевых исследований.

1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА И КЛАССИФИКАЦИИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ И ОЦЕНКА ИХ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ РОЛИ

1.1. Генезис, классификация, свойства и режимы аллювиальных почв России

Генезис аллювиальных почв связан с общими условиями формирования пойм рек. Изучению образования, строения речных долин и пойм равнинных рек России уделяли большое внимание В.В. Докучаев, Н.М. Сибирцев, Б.Б. Польшин, Л.И. Прасолов, В.Р. Вильямс и др. Их взгляды получили развитие в работах учеников и последователей.

По современным представлениям, поймы рек Русской равнины сформировались в голоцене, они относятся к числу наиболее молодых и динамичных элементов рельефа речной долины [3, 190, 245]. В соответствии с гидролого-геоморфологической концепцией, пойма представляет собой часть дна речной долины, затапливаемую в половодье и формируемую в результате отложения наносов в процессе эрозионно-аккумулятивной деятельности речного потока [146, 147 243]. Рекам принадлежит важная роль в процессе рельефообразования: их воды разрушают старые геоморфологические формы дневной поверхности, переносят и переотлагают продукты разрушения, преобразуя рельеф и создавая его новые эрозионные и аккумулятивные формы [21, 245]. Рельеф, создаваемый рекою на водосборных территориях, определяется характером речной сети, типом ее рисунка, скоростью течения потока, временем года, климатом, составом горных пород, геологическим строением бассейна и усложняется от верховьев к низовьям [32, 91, 221].

В поймах рек В.И. Шраг [259] выделял три части: прирусловую – с прибрежными пляжевыми полосами и прирусловыми валами; центральную – ровную, сложенную поло-

водными наносами, часто имеющую старицы и вторичные озерные водоемы; притеррасную – заболоченную ложбину, примыкающую к первой надпойменной террасе с остатками староречья. А.Л. Александровский [3], выделяет в пойме три крупных участка: 1) современные пояса меандр, на которых русло блуждает, разрушая и создавая новые поверхности; 2) стабильные участки, в пределах которых идет накопление отложений; 3) древние стабильные участки с хорошо развитыми почвами. Почвы пойм А.Л. Александровский [3] разделяет по возрасту соответственно участкам поймы: пионерные, хорошо развитые и зрелые; а также по степени гидроморфности: на хорошо дренированные, с признаками гидроморфизма и заболоченные.

Эволюционно-генетические связи между различными аллювиальными почвами обусловлены общим процессом развития ландшафтов речных долин. Сегменты поймы, русловые валы, старицы, протоки и другие элементы рельефа долины имеют системный характер расположения, по которому могут быть восстановлены пути и этапы перемещения русла, а также закономерности осадконакопления и почвообразования. На примере лесостепной и степной зон Русской равнины, Л.А. Яблонских [263] показано, что образование аллювиальных почв в поймах рек происходит согласно закону аналогичных топографических рядов почв. В каждой зоне и их подзонах аналогичные ряды почв формируются под влиянием мезо- (высокая, средняя, низкая пойма) и микрорельефа (старичные понижения, гривы, западины), уровня грунтовых вод, степени увлажнения и состава растительности.

Почвообразовательные процессы в поймах развиваются на аллювиальных отложениях. Исходным материалом образования аллювия являются породы и почвы на склонах долин и берегах рек, подверженные поверхностной, линейной и боковой водной эрозии. Кроме того, донная эрозия проявляется в русле действующей реки и в пойме, старичных и озерных

водоемах или водохранилищах. Перенос разрушенного материала и осадконакопление в речной долине происходит в различных формах и объемах и влияет на химические особенности аллювия. На состав аллювия влияют почвенно-гидрологические, климатические и другие природные условия, а также степень развития техногенеза в бассейнах рек [135, 160]. Деятельность рек создает специфические фациальные условия осадконакопления и литогенеза. Для равнинных рек выделяют три основные фазы осадконакопления: русловая, пойменная и старичная с их более детальными подразделениями. Аккумуляция аллювия в русловой форме незначительна и проявляется, в основном, *на первой фазе* формирования поймы, когда ведущим геологическим процессом является глубинная эрозия. Для русловой фации типичны следующие особенности: большая динамичность осадков, косая слоистость, разнородный состав грубозернистого гравийного и песчаного материала, плохая сортированность отложений. Накопление аллювия за счет пойменных фаций *на второй фазе* происходит при усилении боковой эрозии и сопровождается блужданием русла по дну долины реки. В пойменной фации преобладает супесчаный, илистый и глинистый материал, часто насыщенный органическим веществом. В старичной фации, свойственной *третьей фазе*, которая характеризуется затуханием и глубинной, и боковой эрозии, накапливаются пески, глины, ил или торф, в зависимости от связи с действующим руслом и стадий развития речной долины. В поймах отчетливо сочетаются аллювиальное осадконакопление и почвообразование. Они находятся в различных соотношениях, в зависимости от положения – в прирусловой, центральной, либо притеррасной частях поймы [245, 252, 253].

Условия почвообразования в поймах рек, по Г.В. Добровольскому [84], определяются особым соотношением биологического и геологического круговорота веществ, пышным

развитием растительности, высокой биогенностью аллювиальных почв. При сильной выраженности этих факторов резче проявляется отличие почв пойм от окружающих плакорных почв. Сложность генезиса аллювиальных почв определяет неопределенную морфологию их профиля [84, 238]. Оригинальные гипотезы о пойменном почвообразовании выдвинул А.И. Шепелев [253]. Согласно одной, это процесс биологической организации почвообразующего субстрата с различной степенью гидроморфизма. По другой, оно специфично, и определяется процессами почвообразования и особенностями литологических толщ участков пойм. Ведущим природным почвообразовательным процессом в пойме, с точки зрения А.И. Шепелева [253], является дерновый. П.Н. Балабко [18] предлагает рассматривать макропроцессы почвообразования аллювиальных почв как комплекс элементарных почвообразовательных процессов: для *дернового* макропроцесса – гумусообразование и биогенное оструктуривание; для *лугового* – интенсивное гумусообразование и гумусонакопление, биогенное и гидроморфное оструктуривание, **оглеение, ожелезнение, оруденение**, окарбоначивание; для *болотного* – торфообразование, **оглеение**, гидроморфное оструктуривание, **ожелезнение, оруденение**. Подзолистый и глеевый процессы в почвах на водоразделах способствуют мобилизации и поступлению в поймы рек таежно-лесной зоны железа, фосфора, алюминия и других элементов, что сказывается на валовом химическом составе аллювиальных почв [236].

При характеристике строения пойм рек Пермского края Б.Н. Нешатаев [162] и А.И. Паутов [173, 175, 183] дали оценку особенностям формирования аллювиальных почв региона. Поймы рек Пермского края подчиняются определенным законам структурообразования. В их пределах выделяются три экологические зоны: прирусловая, центральная и притеррасная и три высотных геоморфологических уровня: низкий,

средний и высокий. Аллювиальные почвы изменяются в пространстве и времени в пределах этой горизонтально-вертикальной триады довольно четко: в *приустьевье* протекает мощный аллювиальный процесс и развитие молодых почв легкого гранулометрического состава; в *центральной пойме* сочетаются сложный седиментоз и процессы формирования разных видов аллювиально-дерновых почв; в *притеррасье* застойное половодье, близость грунтовых вод, активный привнос вещества из сопряженных террас и плакоров создают условия для образования глеевых, торфянистых гидроморфных почв, а также сложных сочетаний и комплексов смыто-намытых почв.

Следовательно, генезис аллювиальных почв отличается сложным сочетанием почвообразовательных процессов. Аллювиальные почвы занимают небольшие ареалы в пределах поймы той или иной реки, образуя сочетания. Их компоненты могут составлять фон почвенного покрова поймы или быть сопутствующими. Полигенетичность почв пойм определяет проблемы их классификации.

По мнению Л.И. Кораблевой [130], в пределах одной и той же поймы, но в разных ее генетических областях, различия в условиях почвообразования, процессах и свойствах аллювиальных почв настолько существенны, что невозможно рассматривать эти почвы в качестве одного типа почв. Г.В. Добровольский [84, 88] под типами пойменных почв понимает генетически тесно связанные взаимными переходами группы почв, развивающиеся в общем процессе эволюции поймы как части речной долины. Согласно Классификации и диагностике почв СССР [119], все почвы пойм, по характеру формирующих их почвообразовательных процессов, реакции среды, степени разложения и аккумуляции органического вещества объединены в девять типов. Преобладают в почвенном покрове пойм аллювиальные дерновые и луговые почвы, которые формируются в условиях постоянного по-

ступления наилок, в результате чего нарастают вверх. По Классификации и диагностике почв России 2004 года [118] в отделе аллювиальных почв синлитогенного ствола обозначены семь природных и шесть типов агропочв. Кроме того, в отделе слаборазвитых почв синлитогенного ствола выделен тип аллювиальных слоистых почв. Усложняют генезис и классификацию почв пойм зональные особенности почвообразования. Как следствие, специфика строения профилей аллювиальных почв определяется комбинациями разнородных органогенных, гумусовых, глеевого, гидрометаморфического и слитого горизонтов, а также горизонтов **гидрогенной аккумуляции железа** и карбонатов.

Изучению *физико-химических свойств и макро-, микро-морфологической и агрохимической характеристик* аллювиальных почв пойм рек Русской равнины, пищевого режима и динамики важнейших элементов питания растений, сельскохозяйственного использования аллювиальных почв посвящены работы: Л.И. Кораблевой [130], А.М. Гущиной [73], Л.Ф. Трухиной [236], П.Н. Балабко [17, 18], Т.Н. Авдеевой [1], М.В. Беличенко [23] и многих других. Было установлено, что для профиля аллювиальных дерновых слоистых почв характерно наличие погребенных горизонтов, отличающихся от аллювия более высокой гумусированностью и структурностью, характерной для гумусово-аккумулятивных горизонтов. Аллювиальным почвам таежно-лесной зоны также свойственны **конкреционные Mn-Fe-новообразования**, количество и состав которых с севера на юг природной зоны возрастает: максимальное содержание отмечено в луговых почвах южно-таежной подзоны Русской равнины [18, 231].

Для аллювиальных луговых почв поймы р. Чулым, притока р. Оби, по данным Р.А. Груздковой [72], характерны: высокая макро- и микроагрегированность, интенсивная гумификация растительных остатков и частичное их **ожелезнение**, сильное **оглеение** почвенного профиля и формирование

большого количества разнообразных новообразований, что указывает на периодичность грунтового или поверхностного переувлажнения почв.

На примере почв поймы р. Оки, Л.И. Кораблевой [129] установлено, что агрохимические свойства аллювиальных почв центральной части Русской равнины, формирующихся на разных сегментах поймы подвержены влиянию как литолого-геохимических (гранулометрический, химический и минералогический состав наилков; химический состав грунтовых вод), так и биоклиматических (тепловой режим, условия атмосферного увлажнения, состав и продуктивность растительных сообществ) факторов. Так, дерновые слоистые почвы прирусловой части поймы имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, сравнительно невысокое содержание гумуса (1,3 до 2,6%), что ниже, чем в аллювиальных луговых почвах. Аллювиальные дерновые почвы поймы р. Оки, по данным Л.И. Кораблевой [129], кислые ($pH_{КС1} < 6$), насыщенность поглощающего комплекса основаниями – средняя 60-80%. Содержание гумуса в супесчаных разновидностях составляет 3-6%, но, в зависимости от содержания илистой фракции, может варьировать в довольно широких пределах и достигать 10%. Луговые почвы центральной поймы верхнего течения р. Оки, по данным Л.И. Кораблевой [129], имеют нейтральную или слабощелочную реакцию (pH 7,1-7,3); высокую насыщенность основаниями, сравнительно высокое содержание гумуса (2,9-3,2%).

Аллювиальные луговые почвы поймы р. Оби в Западной Сибири, по данным Р.А. Груздковой [72], среднекислые в верхней части профиля, с глубиной реакция почвенной среды постепенно возрастает, переходя в слабокислую. Аллювиальные луговые почвы поймы р. Москвы имеют нейтральную реакцию по всему профилю. Аналогичные почвы поймы р. Камы характеризуются, в основном, кислой реакцией.

Следовательно, реакция среды аллювиальных почв в пределах таежно-лесной зоны изменяется в широком интервале значений: от кислой до щелочной и, во многом, определяется составом коренных пород.

Валовой химический состав почв пойм центральной части Русской равнины рассмотрен в работах Г.В. Добровольского [84, 88], в коллективной монографии «Почвы Московской области...» [199] и других изданиях. Аллювиальные темногумусовые почвы поймы р. Оки отличаются выравненностью валового химического состава по профилю, а также превосходят автоморфные почвы бассейна р. Оки по валовому содержанию фосфора, кальция и магния [257]. Особенностью валового химического состава аллювиальных дерновых кислых почв Кировской области, в связи с повсеместным распространением кислых верхнепермских глин, является высокое содержание **оксидов железа** и алюминия по профилю и низкое содержание оксидов кальция [73].

Различия в гранулометрическом составе аллювиальных дерновых почв рек Ивановской области, в зависимости от размера реки, были отмечены Л.Ф. Трухиной [236]: в поймах малых рек он более легкий, чем у аналогичных почв пойм более крупных рек.

Физико-химические и агрохимические свойства аллювиальных почв Пермского края детально изучили Ю.К. Попов [196, 197] и А.И. Паутов [174, 176, 178, 181, 184]. Исследователи отмечают значительное влияние пород пермской геологической системы на повышенную поглотительную способность аллювиальных почв региона.

В исследованиях А.А. Лютина [143], Н.Я. Коротаева [132], Ю.К. Попова [196, 197], Ф.И. Пермякова [189], Б.Н. Нешатаева [162], А.И. Паутова [174, 175, 176, 178, 180, 181, 184], В.П. Ковриго [122] и др., дана географо-генетическая характеристика аллювиальных почв Среднего Предуралья, рассмотрен их гранулометрический и валовой химический

состав почв, физические и агрохимические свойства. Протекание зонального подзолистого процесса на водораздельных территориях региона оказывает влияние на формирование кислой реакции среды аллювиальных почв, определяет и высокую гидролитическую кислотность и низкую степень насыщенности основаниями.

Наблюдается определенная связь между физико-химическими свойствами аллювиальных почв и геохимическими особенностями почв, слагающих бассейны рек. Бассейны рек таежно-лесной зоны характеризуются широким распространением кислых подзолистых, дерново-подзолистых и болотных почв, аллювиальные отложения чаще всего бескарбонатны, имеют кислую реакцию среды, обогащены подвижными формами **(гидр)оксидов железа** и других полуторных окислов. Для почв речных долин таежно-лесной зоны характерны следующие признаки: кислая и сильноокислая реакция, повышенная обменная и гидролитическая кислотность, высокое содержание подвижных форм **(гидр)оксидов железа** и других полуторных окислов [12]. По сравнению с дерново-подзолистыми почвами зоны, аллювиальные почвы выделяются высоким потенциальным плодородием. В основе формирования свойств и плодородия почв пойм лежит миграция химических веществ и отложение взвешенных наносов, богатых элементами питания растений.

Исследования режима грунтовых вод, влажности почв и физических свойств, проведенные Ф.Р. Зайдельманом [96], Г.И. Коробейниковой [131], А.А. Курматовым [138] и др., показали, что водный режим аллювиальных почв таежно-лесной зоны, в зависимости от их геоморфологической позиции, по-разному связан с грунтовыми водами. Особенностью **водного режима** аллювиальных почв, по данным Ф.Р. Зайдельмана [98] и его сотрудников, является периодическое или ежегодное длительное затопление паводковыми водами весной и переувлажнение капиллярно поднимающимися грунто-

выми водами в течение всего вегетационного периода. С.А. Владыченский [34], И.И. Плюснин [193], подчеркивая специфику гидрологии пойм, предлагают выделять особый, самостоятельный «пойменный» тип водного режима почв.

Водный режим и физические свойства аллювиальных почв определяются особенностями их химизма, а в пределах таежно-лесной зоны России – в значительной мере, особенностями **миграции и аккумуляции железа**. Высокое содержание **(гидр)оксидов железа**, и часто кальция, особенности биологических процессов в пойме, формирование почвообразующей породы из свежесажженного наилка – все это обуславливает формирование четко выраженной водопрочной структуры аллювиальных дерновых почв [99] и благоприятных, с агрономической точки зрения, физических свойств.

За счет высокой водопроницаемости аллювиальных дерновых почв, малой влагоемкости легкого по гранулометрическому составу прируслового аллювия и преобладания нисходящего движения влаги, а также насыщенности паводковых вод кислородом анаэробные условия в них выражены слабо. Обеспечение влагой аллювиальных дерновых почв в течение вегетационного периода осуществляется за счет атмосферных осадков. Грунтовые воды поймы смыкаются с поверхностными полыми водами только в период паводка, а затем опускаются за пределы почвенного профиля. Вследствие этого, водный режим аллювиальных дерновых почв неустойчив, в их профиле отмечаются периоды отсутствия доступной влаги [98]. Несколько иначе складывается гидрологический режим в аллювиальных луговых глееватых почвах, которые формируются под злаково-разнотравными лугами. В сухие и средние, по обеспеченности осадками, годы почвенно-грунтовые воды в середине вегетации находятся на глубине 1,3-1,4 м, во влажные – 0,5-0,7 м [96]. В профиле луговых глеевых почв в сухие годы верховодка находится на глубине 0,9-1,2 м, во влажные – 0,2-0,3 м. В аллювиальных луго-

вых глеевых почвах во влажные годы анаэробнозис наиболее сильно выражен. Влажность гумусового горизонта луговых глеевых почв большую часть вегетационного периода оптимальна, после выпадения осадков – избыточна. Влагоемкость их высокая, водопроницаемость и аэрация, в большинстве случаев, удовлетворительные. Почвенно-грунтовые воды всегда находятся в пределах профиля перегнойно-глеевых почв и, часто, поднимаются к поверхности, затопляя ее. Влажность этих почв постоянно избыточная, аэрация неудовлетворительная. В почвенном воздухе обнаруживается большое содержание углекислоты, в почвенно-грунтовых водах – сероводорода. В профиле аллювиальных почв низких элементов поймы протекают процессы **оглеения и гидрогенной аккумуляции железа** и других химических элементов [84]. Следовательно, постоянное грунтово-капиллярное увлажнение аллювиальных почв создает не только особый водно-воздушный режим, но и влияет на весь комплекс химических и биологических свойств почв и почвенных процессов, в том числе на **аккумуляцию и миграцию железа** в составе органических и минеральных соединений.

Степень и характер неоднородности *окислительно-восстановительных режимов* аллювиальных почв согласуются с их генетическими особенностями и рассмотрены в работах Д.С. Орлова [168], И.С. Кауричева [116, 117], И.М. Габбасовой [53], Н.М. Костенкова [133] и др. Величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в аллювиальных почвах ниже, чем в автоморфных почвах водораздельных пространств, и уже в верхних горизонтах часто находятся в пределах значений редокс-потенциала (Eh) от 400 до 440 мВ. Дерновые почвы прирусловой поймы характеризуются сравнительно однородным распределением потенциалов при некоторой общей тенденции к повышению или понижению ОВП вниз по профилю. В луговых почвах центральной поймы обнаруживается тенденция уменьшения

E_h в нижних горизонтах, подверженных оглеению. Устойчиво низкие величины E_h отмечаются И.И. Гантимуровым [54] в торфяных (около 300 мВ) и особенно в глеевых горизонтах (180-200 мВ) аллювиальных болотных почв притеррасной поймы р. Оби. Л.И. Кораблева [129], при изучении окислительно-восстановительных условий в аллювиальных почвах р. Оки, установила, что величина E_h в почвах прирусловой поймы несколько выше, по сравнению с более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами центральной и притеррасной пойм. В пределах каждой части поймы величина окислительно-восстановительного потенциала колеблется примерно на одном и том же уровне и почти не меняется с глубиной.

Д.С. Орлов [168] относит аллювиальные почвы к группе почв с неустойчивыми значениями ОВП, в которых развитие ОВ-процессов существенно зависит от погодных условий; они характеризуются пятнистостью, очаговостью развития. В сухие годы или сезоны пространственное распределение ОВП в таких почвах приближается к распределению в зоне стабильных окислительных процессов.

Неоднородность профильного распределения потенциалов в аллювиальных почвах В.Г. Саакян [211] объясняет чередованием отложений аллювия разного гранулометрического состава, а также органогенных, глееватых и глеевых горизонтов. В таких условиях наблюдаются резкие скачки потенциалов. Аллювиальная луговая и дерновая слоистая почвы поймы р. Клязьмы характеризуются низкой динамичностью ОВП, малой зависимостью от погодных условий и устойчивыми окислительными процессами в верхних горизонтах. В дерновом горизонте аллювиально-луговой почвы ОВП в течение вегетационного периода сохраняет устойчиво высокие значения (450-600 мВ), но в нижележащем горизонте наблюдается контрастная смена E_h – от -70 до 600 мВ. В глеевом

горизонте преобладают интенсивно-восстановительные процессы.

Таким образом, формирование пойм рек является динамичным процессом, развитие которого зависит от многих факторов. В поймах наблюдается одновременное протекание взаимосвязанных зональных и азональных почвообразовательных процессов и, как следствие, формируется пестрый почвенный покров. Генезис аллювиальных почв сложный, он в значительной степени зависит от географического положения речных долин, их размера, геоморфологической позиции почв в пойме, растительного покрова. Формирование профиля аллювиальных почв Среднего Предуралья осложняется специфичностью химического и минералогического состава коренных пород пермской геологической системы и продуктов их выветривания [132, 182, 196]. Одной из важнейших особенностей аллювиальных почв таежно-лесной зоны является активное участие соединений железа – типоморфного элемента в пойменном почвообразовании на данной территории. Типоморфизм Mn в аллювиальных почвах изучен меньше, чем типоморфизм железа, хотя парагенетичность этих элементов в почвах таежно-лесной зоны общеизвестна [105, 250]. В числе процессов почвообразования в поймах рек исследователи чаще всего указывают «**ожелезнение**», «**оглеение**», «**оруденение**», «**конкрецеобразование**» и др., но работ по изучению состава и состояния (гидр)оксидов и других минералов железа в аллювиальных почвах крайне мало. Рассмотрим более подробно характеристику процесса оксидогенеза в почвах.

1.2. Характеристика оксидогенеза как почвообразовательного процесса

Железо является одним из наиболее распространенных в природе элементов, марганца в почвах и породах содержится

меньше. Кларк Fe в почвах, по А.П. Виноградову [33], составляет 3,8%, Mn – 0,085%. В почвенных Mn-Fe-новообразованиях массовая доля железа (Fe_2O_3) возрастает до 10-80%, а марганца (MnO) – до 1,5-11% [102, 145, 209, 218]. Железо в почве образует собственные минералы, а также входит в состав силикатов, сульфидов, фосфатов, арсенатов и железо-органических комплексов. Валовое железо в почве, по классификации С.В. Зонна [105], подразделяется на две основные группы: силикатное, входящее в состав кристаллических решеток первичных и вторичных минералов и несиликатное, представленное оксидами и гидроксидами. Гидроксиды железа в почвах находятся в аморфной и слабоокристаллизованной формах: ферригидрит, ферроксигит, лепидокрокит, грин раст [105]. Основные сильноокристаллизованные оксиды железа – гематит и магнетит.

Соединения железа и марганца играют важную роль в почвообразовании в связи с их способностью менять степень окисления, образовывать соединения различной растворимости, окисленности и подвижности. Железосодержащие минералы, во многом, определяют цвет почв, а закономерности их превращения и содержания используются при описании почвенных процессов и классификации почв. Установлено, что железо участвует практически во всех элементарных почвообразовательных процессах: метаморфизме минерального и органического вещества почвы, миграции, сегрегации и цементации веществ в почве, оподзоливании, оглеении и др. [262].

В то же время оксидогенез железа рассматривается и как самостоятельный элементарный почвообразовательный процесс. По определению М.А. Глазовской [59], оксидогенез – это ландшафтно-геохимический процесс новообразования, трансформации и накопления окисленных форм железа, марганца и других металлов с переменной валентностью в почвах и породах. Ю.Н. Водяницкий [38] характеризует оксидо-

генез железа и марганца более широко: в качестве природного и/или антропогенного ландшафтно-педохимического процесса наследования, образования, накопления и трансформации оксидов и гидроксидов железа и марганца как в новообразованиях, так и в мелкозем.

В научной литературе приводятся разные схемы протекания процесса оксидогенеза железа. М.А. Глазовская [59], считает, что при осаждении железа Fe(III) на первой стадии синтезируется эфемерный минерал – ферригидрит, который переходит в гидрогетит и гетит. В ходе последующей дегидратации образуются гидрогематит и гематит, маггемит и магнетит. При окислении марганца Mn(II) образуются аморфные гидроксиды переменного состава – гаусманит, якобит, псиломелан и пиролюзит.

Подробная схема оксидогенеза железа была составлена U. Schwertmann [294], в ней представлено взаимное превращение минералов железа: гематита, гетита, ферригидрита, маггемита, лепидокрокита. U. Schwertmann указано и участие сидерита в фазовых превращениях оксидов и гидроксидов почвы. По мере накопления экспериментального материала по специфике проявления оксидогенеза в разных почвенно-климатических условиях схема U. Schwertmann уточнялась. Для почв таежно-лесной зоны она была дополнена Ю.Н. Водяницким [38, 39]. Он подробно рассмотрел синтез гидроксидов железа как сложный процесс, включающий химические реакции окисления Fe(II), гидролиза, комплексообразования, дегидратации и полимеризации. Ю.Н. Водяницким, на основе литературных данных и собственных исследований, расширен также перечень соединений Fe, участвующих в процессе (гидр)оксидогенеза, за счет включения в него ферроксигита и грин раста.

Согласно R.J. Bartlett [268], цикл марганца в почвах состоит из трех стадий: а) восстановление Mn^{+2} ионами Fe^{+3} , Cr^{+3} , серой и легкоокисляемым органическим веще-

ством; б) абсорбция Mn^{+2} формами Mn^{+4} и Mn^{+3} ; в) окисление Mn^{+2} до Mn^{+3} или Mn^{+4} свободными гидроксильными радикалами (и атмосферным кислородом).

Минералогические методы анализа, такие как просвечивающая электронная микроскопия и мессбауэровская спектроскопия, позволили определить фазовый состав (гидр)оксидов в различных типах почв и количественно диагностировать почвообразовательные процессы по наличию отдельных оксидов и гидроксидов. Структура, химические свойства, образование и превращение оксидов и гидроксидов описаны в ряде работ [40, 43, 44, 57, 89, 279].

Пути образования оксидов и гидроксидов железа в процессах выветривания во многом зависят от окислительно-восстановительных условий среды, а также от степени окисленности вовлекаемых соединений. Как правило, окислительные и щелочные условия среды способствуют осаждению гидроксидов железа, а восстановительные и кислые – их растворению. Как минералы, так и органические соединения железа легко преобразуются в почвах. Восстановление железа в почвах происходит под действием органических, в частности, гумусовых кислот, и сопровождается окислением последних [141, 280]. В результате образуются Fe(II)-фульватные комплексы, участвующие в синтезе (гидр)оксидов. Ф.Р. Зайдельманом [99] было проведено изучение соотношения содержания форм несиликатного железа в почвообразующих породах разного генезиса в условиях искусственного оглеения. Модельные эксперименты показали, что в условиях застойного водного режима во всех изученных породах возрастает содержание оксалаторастворимого железа (Fe_{OKC}) и заметно снижается – общего несиликатного ($Fe_{ДИТ}$). Это связано с переходом окристаллизованного железа в аморфное, а также с увеличением концентрации металл-органических соединений. При застойно-промывном режиме во всех породах резко снизилось содержание и оксалаторас-

творимого, и дитиониторастворимого железа. Таким образом, направленность оксидогенеза железа, во многом, определяется окислительно-восстановительными условиями почвообразования.

В формировании (гидр)оксидов железа наиболее значимыми являются химические реакции окисления Fe(II), гидролиза, комплексообразования и дегидратации, реже – полимеризации. Преобразование соединений железа осуществляется также микроорганизмами [11, 299]. Бактерии, окисляющие Fe(II) (*Thiobacillum*) и Mn(II) (*Metallogenium*), способны также переносить высокие концентрации тяжелых металлов (Zn, Ni, Cu, Co, Mn). Поэтому микроорганизмы участвуют в круговороте этих элементов, и могут аккумулировать их на поверхности живых клеток, а после отмирания происходит увеличение концентрации тяжелых металлов на поверхности (гидр)оксидов железа.

В условиях техногенного воздействия на почвы над подземными хранилищами природного газа восстановление Fe(II) протекает в анаэробных зонах с участием ферментирующих железоредукторов, а в аэробных условиях – дополнительно включаются механизмы восстановления железа, биологически индуцированного ауксина метилтрофных бактерий. В результате, в таких почвах формируется магнетит. Окисление Fe(III) проходит с помощью физико-химических процессов, так как микроорганизмов, окисляющих железо, в почвах над подземными хранилищами газа исследователи не обнаружили природно-техногенного оксидогенеза железа [94, 152, 201].

Окисление Fe(II) и Mn(II) происходит химическим и биохимическим путем. Следовательно, в реакциях химического окисления главную роль играет озон, менее активен кислород. В реакциях химического окисления могут участвовать соединения Fe(III) и Mn(IV).

Биохимическое окисление протекает при участии микроорганизмов-автотрофов и гетеротрофов, а потому может быть ферментативным и не ферментативным. Последний механизм запускается при окислении железа и марганца продуктами метаболизма бактерий, грибов и водорослей, выступающих в качестве сильных окислителей. Ферментативное окисление железа, протекая с участием бактерий в анаэробных условиях и кислой среде с $\text{pH} < 3,5$, приводит к образованию сульфата железа. При нейтральной реакции среды и низкой концентрации кислорода в почве окисление Fe(II) происходит частично с последующим синтезом (гидр)оксидов [294].

По данным А.В. Иванова [106], на окисление железа с участием микроорганизмов влияют пространственная неоднородность почвенного вещества, наличие обязательной стадии восстановления трехвалентного железа и процессы на клеточных мембранах микроорганизмов. В этих условиях окисление железа хемогетеротрофными бактериями приводит к формированию высокодисперсной минеральной структуры с поверхностью, содержащей связанное двух- и трехвалентное железо. В зависимости от доступа к ней кислорода она может переходить либо в слабые ферромагнетики — гетит, гематит, либо в сильномагнитный магнетит.

Ферментативное окисление Mn(II) с участием бактерий *Metallogenium*, под действием продуктов их метаболизма, происходит в анаэробных условиях с образованием оксидов [250, 275]. Под действием как химических, так и микробиологических процессов образуются разнообразные железомарганцевые конкреции. Известно, что образование некоторых кристаллических минералов также происходит под действием микроорганизмов.

Таким образом, оксидогенез железа и марганца проявляется в почвах при условии наличия восстановленных форм Fe(II) и Mn(II) , их мобилизация происходит как из силикат-

ной части, так и из несиликатной. Окисление Fe(II) в почвах совершается разными путями и сопровождается синтезом оксидов и гидроксидов, при окислении Mn(II) образуются преимущественно оксиды.

Рассмотрим характеристику основных оксидов и гидроксидов железа почв таежно-лесной зоны.

Ферригидрит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{FeOOH} \cdot 2,6\text{H}_2\text{O}$). Образуется из неорганических и фульватных гидроксокомплексов Fe(III). Это – эфемерный гидроксид, в почве он постепенно превращается в более стабильные формы: гетит и гематит. В почвах таежно-лесной зоны ферригидрит чаще превращается в гетит [40]. Этому переходу способствуют низкая температура, гумидность климата и кислые условия среды с pH от 4 до 6 [293]. При pH 6 в условиях дефицита протонов из ферригидрита образуется, в основном, гематит, а при pH 5 – гетит.

На результаты кристаллизации влияют также анионы и катионы. Так, например, превращение ферригидрита в гематит замедляется, если его частицы содержат примесь аморфного SiO_2 . Кремний ингибирует кристаллизацию ферригидрита и способствует его сохранению в почве.

Ферригидрит представляет собой гетерогенную смесь трех компонентов: структурноупорядоченного и дефектного ферригидритов, а также ультрадисперсного гематита, частицы которого выполняют роль зародышей новой фазы гидроксидов железа [89].

При совместном осаждении с Fe происходит вхождение Cd, Cu, Pb, Zn в рентгеноаморфные частицы гидроксидов железа. Со временем тяжелые металлы закрепляются либо в результате диффузии ионов металла вглубь частиц, либо вследствие трансформации плохо окристаллизованного гидроксида в хорошо окристаллизованный оксид. Соосаждение таких тяжелых металлов, как Cu, Co или Mn совместно с Fe тормозит трансформацию ферригидрита в более окристаллизованные формы. Медь и другие металлы тормозят образование

гетита из ферригидрита вначале, затрудняя растворение частиц ферригидрита, а затем, препятствуя образованию и росту ядер гетита в растворе [286].

Ферригидрит обычно возникает в условиях быстрого окисления иона Fe(II) в почти нейтральной среде с участием железобактерий или путем гидролиза иона Fe(III) в растворе с pH около 8-9. Путем естественного старения ферригидрит переходит в гематит, чему способствуют содержащиеся в растворе органические кислоты, а при пониженной концентрации кислорода - в гетит и гидрогетит [266].

Фероксигит – гидроксид Fe с химической формулой $\delta\text{FeO}(\text{OH})$. Структуру фероксигита составляют плотнейшие упаковки ионов O^{2-} и OH^- , при этом в половине октаэдрических положений статистически распределены ионы Fe^{3+} . Фероксигит относится к термодинамически нестабильным ферромагнитным гидроксидам железа. Сильное варьирование степени упорядоченности приводит к тому, что образуются как «магнитная», так и «немагнитная» его разновидности. В почвах встречаются преимущественно дисперсные кристаллы фероксигита с низкой магнитной восприимчивостью. Исследования, основанные на использовании метода микродифракции электронов и энергодисперсионного анализа, показали, что в почвах чисто железистый фероксигит $\delta\text{FeO}(\text{OH})$ встречается редко. Чаще присутствует Mn-фероксигит, образованию которого способствует структура фероксигита, идентичная структуре оксида марганца ахтенскита ϵMnO_2 [57]. Химическую формулу Mn-фероксигита записывают в виде $\delta(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn})\text{O}_1 \cdot x(\text{OH})_{1-x}$. Содержание марганца в нем варьирует в широких пределах. В структуре Mn-фероксигита анионы O^{2-} и OH^- составляют гексагональную упаковку, половина ее октаэдров занята ионами Mn(IV) и Fe(III). При этом катионы Mn(IV) и Fe(III) распределяются по-разному, и в рамках единой анионной упаковки образуют кластеры разного химического состава. В железосодержащих кластерах

катионы распределены статистически равномерно по доступным октаэдрическим позициям, тогда как в марганецсодержащих кластерах катионы стремятся к послойной сегрегации в составе MnO_2 . Mn-ферроксигит достаточно устойчив к временному снижению значения Eh в оглеенных почвах, он встречается чаще в легких почвах.

Гетит – гидроксид с химической формулой $\alpha FeOOH$, который имеет орторомбическое строение. Ионы Fe(III) заполняют половину октаэдрических пустот, образованных ионами кислорода в гексагональной упаковке. Природное разнообразие гетитов выражается в различной степени их гидратированности и замещенности. Методами рентгендифрактометрии, мессбауэровской спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии установлено, что чаще происходит замещение Fe на Al, реже на Mn.

Образование гетитов и Al-гетитов происходит в разной геохимической обстановке. Так, в кислых автоморфных почвах способность Al осаждаться вместе с гетитом высокая, напротив, в гидроморфных почвах с нейтральной реакцией среды алюминий менее подвижен [272, 285].

Грин раст представлен Fe(II)-Fe(III)-гидроксидами с различным типом межслоевого аниона [276, 295]. Обобщенная химическая формула грин раста дана D.G. Lewis [278]:

$[Fe_a^{III}Fe_b^{II}(OH)_c] \cdot [A_{3a+2b-c/z}] \cdot xH_2O$, где A – межслоевой анион с валентностью z. На образование грин раста влияет скорость окисления Fe(II) до Fe(III), а также их соотношение в растворе. Грин раст образуется за счет сорбции Fe(II) на поверхности аморфных гидроксидов Fe(III) при pH 6,5-7,5 и последующей твердофазной перестройки решетки [276, 284]. Анионы, необходимые для стабилизации гидроталькитовой структуры грин раста, проникают в межслоевое пространство и компенсируют заряд. При концентрации Fe(II) в растворе выше критического уровня, грин раст сохраняется. При снижении содержания Fe(II), данный минерал начинает разру-

шаться, высвобождая часть твердофазного Fe(II) обратно в раствор, что поддерживает уровень активности Fe(II), обеспечивающий сохранение грин раста. Стабильность грин раста сильно зависит также от типа аниона в межслоевом пространстве. По устойчивости грин раста анионы, входящие в его состав, составляют ряд: $\text{NO}_3^- < \text{ClO}_4^- < \text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{I}^- < \text{CO}_3^{2-} < \text{SO}_4^{2-}$ [278].

Гематит $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ – оксид железа. В почвах образование гематита связывают с кристаллизацией гидроксидов железа. Например, в лабораторных условиях из раствора $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, гематит образуется через фазу ферригидрита, в условиях слабощелочной реакции среды, низкой влажности и повышенной температуры. На образование гематита влияет также присутствие в почвенном растворе анионов. Исследованиями N. Galvez [274] установлено, что при отсутствии фосфатов в растворе, в кислой среде и при температуре 25-50°C образуется преимущественно гетит, в щелочной – гематит. При температуре 100°C доля гематита возрастает во всем интервале pH – от 3 до 9. Степень влияния фосфатов зависит от pH, достигая максимума в умеренно кислой среде. Высокое содержание гематита ослабляет морфологическое проявление элювиальных процессов в почвах таежно-лесной зоны Русской равнины [139].

Магнетит Fe_3O_4 и маггемит $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ - оксиды железа, которые имеют похожую структуру и изометрическое кристаллическое строение. Оба минерала обладают высокой магнитной восприимчивостью. В.Ф. Бабанин [15] различает литогенные, педогенные и техногенные формы магнетита. В литогенном магнетите фиксируются разные замещения железа: Fe(II) замещается Mn и Ni, а Fe(III) на Zn и Cu. Содержание этих тяжелых металлов в магнетите часто превышает 1%. Концентрация тяжелых металлов в магнетите убывает в таком порядке: $\text{Mn} > \text{V} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cu}$. Частицы литогенного магнетита отличаются массивными зернами октаэдрической

формы. Больше всего литогенного магнетита в почвах, образовавшихся на основных породах. В ряде автоморфных почв на кислых породах наблюдается аккумулятивное распределение магнетита. В поверхностных горизонтах полугидроморфных и гидроморфных почв накопления магнетита не происходит [15].

Согласно представлениям В.А. Maher [283], в почвах образуются высокодисперсные частицы магнетита размером примерно 50 нм, преимущественно, при неорганическом осаждении Fe(II), предварительно восстановленного с участием железоредуцирующих бактерий. Процесс синтеза магнетита D.R. Lovley [280] определяет как включение Fe(III) в качестве акцептора электронов в состав слабоупорядоченных гидроксидов железа в метаболизме бактерий, восстанавливающих железо. Этот магнетит образуется в хорошо дренированных почвах с переменными значениями Eh. Частицы техногенного магнетита имеют более крупные размеры по сравнению с педогенными.

Техногенный магнетит поступает в почву от выбросов промышленных предприятий и является носителем ряда тяжелых металлов: хрома, никеля, цинка, свинца, меди [15, 90, 207, 242].

Минералы марганца в почвах изучены в меньшей степени, чем минералы железа. В почвенном растворе марганец образует ряд простых и комплексных ионов, а также несколько оксидов различного состава. Наиболее распространенная форма Mn в породообразующих силикатных минералах существует в виде ионов Mn(II), встречается также Mn(III) или Mn(IV). Катион Mn(II) обладает способностью замещать двухвалентные катионы некоторых элементов (Fe, Mg) в силикатах и оксидах. По данным Ф.В. Чухрова [251], в почвах встречаются такие минералы марганца, как вернадит, бернессит, литиофорит, криптомелан, голландит и тодорокит. Наиболее устойчивыми кристаллическими формами оксидов

марганца являются минералы со слоистой и псевдослоистой структурой – вернадит и бернессит. R.M. McKenzie [287] и Ю.Н. Водяницкий [41] обобщили имеющиеся данные по геохимии марганца в почвах и пришли к выводу, что Mn распространён в почвах в виде оксидов и гидроксидов, осаждаемых как на почвенных частицах, так и в виде конкреций различного диаметра.

В качестве **критериев оксидогенеза** в почвах U. Schwertmann [292], В.Ф. Бабанин [15], Ю.Н. Водяницкий [40] и другие предлагают принять следующие характеристики: *а)* критерий биогенности почвенных минералов железа, *б)* цвет почв, *в)* группировку соединений железа и марганца по результатам анализа химических вытяжек, *г)* профильное распределение соединений железа, *д)* разнообразие (гидр)оксидов, *е)* коэффициент накопления термодинамически нестабильных гидроксидов, *ж)* магнитную восприимчивость, *и)* критерий Швертмана, *к)* критерий Водяницкого. Рассмотрим параметры этих характеристик.

а) Критерий биогенности почвенных минералов железа. Педогенные частицы (гидр)оксидов железа обладают некоторыми особенностями, отличающими их от литогенных и космогенных, такие как дисперсность, морфология, степень упорядоченности, тип замещения Fe, тип сорбированных химических элементов. Педогенные частицы (гидр)оксидов железа имеют низкую степень упорядоченности структуры, размер 50-100 нм, часто содержат реликты железоокисляющих бактерий. Биогенные частицы характеризуются специфическим набором высокобиофильных элементов (P, Mn), замещающих Fe. Факт присутствия марганца в составе (гидр)оксидов железа в верхних горизонтах почв, по мнению Ю.Н. Водяницкого [41], можно рассматривать как доказательство биогенной природы минералов.

б) Цвет почв. (Гидр)оксиды железа являются одним из основных пигментов, определяющих цвет почв при низком

содержании гумуса. А.С. Scheinost [291], проанализировав значительное количество эталонных образцов минералов железа в системе Манселла, установил, что средние цветовые тона гематита, ферроксигита, ферригидрита и лепидокрокита близки друг другу, но средний цветовой тон гетита значительно желтее. Ионы Fe(III) в почве при формировании связи с гидроксидом Fe-OH⁻ придают образовавшемуся соединению желто-бурый цвет. Взаимодействие с кислородом и формирование связи Fe-O-Fe определяет бурый цвет почвы. Восстановленные ионы Fe(II) окрашивают почву в сизые, оливковые, голубоватые и зеленоватые тона. Окраска гидроксидов железа также зависит от размеров и формы их частиц. Цвет гематита изменяется от желто-красного до пурпурно-красного при увеличении диаметра кристаллов от 0,1 до 1,0 мкм. Потемнение и покраснение частиц гетита усиливается при уменьшении длины игольчатых кристаллов минерала с 0,8 до 0,05 мкм. В свою очередь, длина иголок зависит от степени замещения Fe на Al. Оксиды марганца имеют низкую светлоту и, наряду с гумусом, сильно влияют на степень черноты почвы при высоком их содержании, особенно в составе Mn-конкреций. Желтизна и краснота оксидов марганца очень низкие [291]. В разных условиях почвообразования цвет глеевых горизонтов разнообразен [99]. Цвет оглеенных почв формируется в результате ряда почвообразовательных процессов: виридизации (образование грин раста), оливизации (обезжелезнение), полиозации (посерение) и меланизации (почернение почв) [46].

в) Группировка соединений железа и марганца. При изучении форм оксидов и гидроксидов железа и марганца используются преимущественно химический метод анализа с использованием стандартных вытяжек: Мера-Джексона, Тамма, Баскомба, пирофосфатной и гидроксиламиновой.

Реактив Мера-Джексона (Fe_{дит}) используется для растворения свободных (несиликатных) соединений железа.

Разница между содержанием валового и свободного железа ($Fe_{\text{ВАЛ}} - Fe_{\text{ДИТ}}$) позволяет получить количество силикатного железа. Реактив Тамма ($Fe_{\text{ОКС}}$) растворяет не только аморфные соединения железа, но и различные слабоокристаллизованные гидроксиды: ферроксигит, ферригидрит, грин раст. Они – часть от всех свободных, дитиониторастворимых соединений ($Fe_{\text{ДИТ}}$). Соответственно, сильноокристаллизованные соединения (гематит, магнетит и гетит) определяют по разности $Fe_{\text{ДИТ}} - Fe_{\text{ОКС}}$. По Л.А. Кармановой [114], доля данной формы железа среди несиликатного железа очень низкая, при ее содержании $<5\%$, низкая – при 5-10, средняя – 10-20, высокая – 20-40, очень высокая – при $> 40\%$. Л.А. Карманова [114] относит абсолютное содержание несиликатного железа $< 0,8\%$ к очень низкому, 0,8-2,0 – низкому, 2,0-4,0 – среднему, 4,0-10,0 – высокому и 10,0 – очень высокому. Отношение $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$, по Л.А. Кармановой [114], характеризуется как очень низкое ($<0,20$), низкое (0,20-0,30), среднее (0,30-0,40), высокое (0,40-0,60), очень высокое ($> 0,60$). В свою очередь, степень оксидогенеза по величине отношения $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$ оценивается Ю.Н. Водяницким [40] как очень низкая ($<0,25$), низкая (0,35-0,25), умеренно низкая (0,45-0,35), средняя (0,55-0,45), умеренно высокая (0,65-0,55), высокая (0,75-0,65) и очень высокая ($> 0,75$).

г) *Профильное распределение соединений железа.* Численная характеристика профильного распределения соединений железа проводится с использованием показателя аккумулятивности RC . Всего выделяется семь типов распределения признака: сильно аккумулятивный ($1,00 > RC > 0,66$), равномерно аккумулятивный ($RC = 0,66$), слабо аккумулятивный ($0,66 > RC > 0,50$), недифференцированный ($RC = 0,50$), слабо элювиальный ($0,50 > RC > 0,33$), равномерно элювиальный ($RC = 0,33$), сильно элювиальный ($0,33 > RC > 0,00$) [40]. Профильное распределение содержания железа зависит от типа почв, природных и антропогенных факторов почвообразова-

ния. Для аллювиальных почв, имеющих синлитогенное происхождение такой подсчет не имеет смысла.

д) *Разнообразие (гидр)оксидов.* Разнообразие гидроксидов железа в выборке объектов оценивали с помощью показателя P , представляющего собой отношение числа образцов почв, в которых содержание разных (гидр)оксидов железа больше 1, к общему числу образцов в выборке. В отдельном образце разнообразие можно оценивать по числу встречающихся типов (гидр)оксидов железа N . Узкий набор минералов ($N=1-2$) свидетельствует о стабильных окислительно-восстановительных условиях в почве, а широкий ($N=3-4$) – о контрастных редокс-условиях.

е) *Коэффициент накопления термодинамически нестабильных гидроксидов.* Коэффициент накопления термодинамически нестабильных гидроксидов $K_{\text{НЕСТ}}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{НЕСТ}} = (n_{\text{ФГ}} + n_{\text{ФК}} + n_{\text{ЛП}}) / n_{\text{ГТ}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{ФГ}}$, $n_{\text{ФК}}$, $n_{\text{ЛП}}$, $n_{\text{ГТ}}$ – количество образцов, содержащих соответственно ферригидрит, ферроксигит, лепидокрокит и гетит.

$K_{\text{НЕСТ}}$ позволяет статистически оценить соотношение развития двух почвенных микропроцессов оксидогенеза – образование частиц нестабильных гидроксидов и их превращение в стабильный гетит.

ж) *Магнитная восприимчивость.* Определение магнитной восприимчивости проводят для выявления почв с высоким содержанием сильномагнитных оксидов железа: магнетита Fe_3O_4 и маггемита $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ [15, 165], магнитная восприимчивость которых составляет $300-2000 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$. Большинство (гидр)оксидов железа относят к слабомагнитным. Так, интервал значений магнитной восприимчивости гематита $40-260 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$, гетита – $120-430 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$ [15]. Градация почв по величине магнитной восприимчивости предложена Ю.Н. Водяницким [38]. Согласно этой градации, значения $< 20 \cdot 10^{-8}$

м³/кг являются очень низкими, 20-50 – низкими, 50-100 – умеренно низкими, 100-200 – средними, 200-500 – умеренно высокими, 500-1000 – высокими, > 1000 – очень высокими.

и) Критерий Швертмана. Критерий $Fe_{\text{ОКС}}/Fe_{\text{ДИТ}}$ Швертман рекомендует в качестве характеристики доли слабоокристаллизованных гидроксидов железа среди всех свободных (дитиониторастворимых) соединений. Растворимость реактивом Тамма минералов Fe(III) зависит от присутствия других сопутствующих минералов железа, иногда сильно возрастает, достигая или даже превышая величину $Fe_{\text{ДИТ}}$. По мнению Ю.Н. Водяницкого [44], величина критерия Швертмана отражает не фактическую степень гидроксиогенеза в почве, а только ее окислительно-восстановительное состояние, так как реактив Тамма извлекает из почвы оксалаторастворимые соединения железа, представленные слабоупорядоченными (гидр)оксидами.

к) Критерий Водяницкого ($K_{\text{В}}$). Критерий (гидр)оксиогенеза Ю.Н. Водяницкого [47] рассчитывается следующим образом: $K_{\text{В}} = Fe_{\text{ОКС}}/[Fe_{\text{ОКС}} + Fe_{\text{ДИТ(ПОСЛ)}}]$. Он отражает долю оксалаторастворимых соединений железа от суммы всех свободных при последовательной схеме экстракции, когда в одном и том же образце почвы определяют сначала оксалаторастворимое железо, а затем дитиониторастворимое. Критерий Водяницкого имеет четкие границы от нуля до единицы и представляет собой долю аморфных, слабоокристаллизованных Fe(III)- и Fe(II)-соединений от общего содержания Fe(III)-(гидр)оксидов и Fe(II)-минералов.

Для объективной оценки масштабов оксидогенеза в почвах необходимо использовать комплекс показателей его проявления. Оксидогенез в почвах разного генезиса имеет специфику проявления.

Особенности оксидогенеза железа в почвообразующих породах, криоземах и глееземах тундровой зоны и предтундровых редколесий были установлены Н.С. Мергеловым [149].

Железо в этих почвах входит, в основном, в состав филлосиликатов, так как наличие оксидов и гидроксидов, по данным мессбауэровской спектроскопии, не установлено. Оксидогенез железа в этих почвах протекает слабо, формируя окраску «теплых» тонов. Морфологические признаки этого процесса частично или полностью стираются при актуальном восстановлении железа. Холодный тон глеевых горизонтов обусловлен не только редукцией железа, но и цветом почвообразующих пород, содержащих очень низкое количество (гидр)оксидов железа. Следовательно, в условиях субарктической зоны оксидогенез выражен незначительно.

В дерново-подзолистых почвах северной тайги Северодвинско-Мезенского междуречья, по данным Н.В. Чапыгиной [241], оксидогенез железа, как и в почвах тундры, выражен слабо, его формы проявления различны в зависимости от степени гидроморфизма и гранулометрического состава почв. Преимущественно в почвах тяжелого гранулометрического состава оксидогенез проявляется в форме образования гипергенного гематита и гидрогетита. В почвообразующих породах идентифицированы магнетит и маггемит.

Проявление оксидогенеза железа в гидроморфных почвах таежно-лесной зоны Русской равнины (на примере почв Московской, Ленинградской, Новгородской, Кировской и Пермской областей) описано Ю.Н. Водяницким [38]. Автором сводки были обобщены материалы коллективных исследований почвоведов ряда ВУЗов России по изменению магнитной восприимчивости почв при развитии оглеения и изменению состава и содержания (гидр)оксидов железа в почвах гумидной зоны разного генезиса.

Оксидогенез железа в дерново-подзолистых почвах на элювии-делювии верхнепермских отложений разной степени гидроморфизма охарактеризован в работе А.А. Васильева [31]. Было установлено, что оксидогенез в переменных окислительно-восстановительных условиях проявляется в образо-

вании термодинамически нестабильных гидроксидов. В пахотном слое дерново-подзолистых почв содержание лепидокрокита (γFeOOH) достоверно увеличивается от 0,08% в поверхностно-глееватой и до 0,20% в профильно-глееватой. В железомарганцевых конкрециях оксидогенез в форме образования лепидокрокита выражен в еще большей степени. Его содержание в ортштейнах профильно-глееватой почвы составляет свыше 0,3%. При развитии восстановительных процессов в дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах Среднего Предуралья и разрушении магнетита, магнитная восприимчивость гумусового горизонта снижается от $18 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$ в неоглеенной до $13 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$ в профильно-глееватой.

В дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья на древнеаллювиальных отложениях р. Камы оксидогенез железа и марганца проявляется в форме образования термодинамически нестабильных минералов: Fe-вернадита, ферроксигита и ферригидрита [218]. Особенностью проявления оксидогенеза в этих почвах является отсутствие термодинамически стабильного гематита и подчиненное положение, по отношению к Fe-вернадиту, гетита. В.Ю. Гилевым [56] установлено, что в дерново-подзолистых и дерновых почвах на элювии и делювии красноцветных пермских отложений процесс оксидогенеза в глеевых и гумусовых горизонтах приводит к восстановлению гематита, унаследованного от почвообразующих пород, до гетита.

В конкрециях дерново-подзолистых и дерново-глеевых почв Среднего Предуралья оксидогенез марганца преобладает над гидроксидогенезом железа. При экстрагировании подвижных форм железа и марганца доля оксидов марганца достигает в ортштейнах 40-80%, тогда как доля гидроксидов железа составляет 30-40% от валового [218].

Д.В. Чернов [247] проанализировал развитие оксидогенеза железа на основе содержания несиликатного и аморфного железа и их профильного распространения в дерново-

подзолистых постагрогенных почвах средней и южной тайги. Оксидогенез железа в этих почвах, по оценке автора, выражен слабо.

М.А. Мурашкина [158] констатировала, что содержание и состав соединений железа, марганца и других металлов с переменной валентностью в почвах лесных экосистем средней тайги отличаются большим разнообразием за счет неоднородности химического, минералогического и гранулометрического составов почвообразующих пород, биогенных и почвообразовательных условий таежно-лесной зоны. В дерново-подзолистых почвах профильное распределение различных групп соединений подвижного железа элювиальное, а в дерново-карбонатных – аккумулятивное.

В почвах на красноцветных породах Европейской территории России определена специфика брьюнификации, которая проявляется в «цветовой» трансформации профиля и обусловлена преобразованием литогенных гематита и гетита, а также формированием термодинамически нестабильных минералов (ферроксигита, ферригидрита и Fe-протофазы) и стабильного педогенного гетита по ним [140]. Наличие унаследованных от породы (гидр)оксидов железа в почвах на красноцветных породах препятствует развитию профильной дифференциации почв на морфологическом и минералогическом уровне и изменяет сложившиеся представления о закономерностях профильного распределения несиликатного железа в почвах таежно-лесной зоны.

В бурых лесных почвах Окско-Мещерского полесья и дерново-лесных почвах Воронежского биосферного заповедника оксидогенез железа и марганца, установленный по количеству дитиониторастворимых форм, развит наиболее сильно в поверхностных горизонтах [204]. Несмотря на низкое содержание железа, спектр его (гидр)оксидов достаточно широк. Для обоих типов почв установлен ряд микропроцессов образования (гидр)оксидов железа и марганца - ферри-

гидрита, гетита, лепидокрокита, магнетита, гематита, вернадита. В гумусовых горизонтах оксидогенез марганца выражен в синтезе псевдослоистого минерала – вернадита.

Ю.Н. Водяницкий [39], обобщив результаты собственных исследований и значительное количество работ ученых-почвоведов по проявлению оксидогенеза в почвах разных регионов мира, пришел к выводу, что в почвах таежно-лесной зоны оксидогенез протекает более интенсивно, чем в почвах степной зоны. По распространенности в почвах гидроксиды представлены следующим рядом: гетит > ферроксигит > ферригидрит > лепидокрокит.

На примере черноземов степной зоны, С.А. Николаева [164] выявила, что при периодическом переувлажнении почв происходит образование оксалаторастворимых форм железа и их накопление за счет закрепления гумусовыми кислотами и фосфатами. Позднее, А.О. Алексеев [6], обобщая свой опыт изучения степных и лесостепных почв (черноземы, каштановые и бурые полупустынные почвы), пришел к выводу, что оксидогенез протекает на ограниченных участках аридных территории, подверженных переувлажнению и морфологически не выражен, так как маскируется интенсивными процессами образования гумуса и накопления карбонатов. В длительные засушливые периоды образованию гетита способствует высокое содержание органического вещества и кислая реакция среды ($\text{pH} = 4-6$), формирование гематита наблюдается при более высоких значениях pH . Синтез магнетита происходит при переменных условиях увлажнения, наличии органического вещества, нейтральной реакции среды. Увеличение влажности провоцирует разрушение данного минерала с последующим образованием Fe(II)-Fe(III)-гидроксида (грин раста).

В латеритном конкреционном горизонте красноземов Л.С. Ильиной [109], в составе основной фазы минералов железа, доказано присутствие гетита, а также пирита и проме-

жуточных продуктов его окисления: пирротинов и окисленного магнетита.

Оксидогенез в аллювиальных почвах изучен в значительно меньшей степени. По данным микроскопического анализа Ю.К. Попов [196] установил, что в почвах поймы р. Обвы в Пермском крае суммарное содержание лимонита (устаревшее название комплекса гидроксидов железа), а также гематита и магнетита составляет 7-34% от объема тяжелой фракции (0,25-0,05 мм). При этом, на долю лимонита в почвах поймы р. Обвы приходится 4-28%, а в почвах поймы р. В. Мулянки – 6-29%. В настоящее время установлено, что лимонит – это не один минерал, а смесь ферроксигита, ферригидрита и др. [40].

И.Т. Кузьменко [137], в результате исследования содержания и соотношения форм соединений железа в почвах пойм р. Оки и ее притоков, установил, что они специфичны для разных типов аллювиальных почв. Нарастание гидроморфизма аллювиальных почв приводит к накоплению в них несиликатного железа. Аккумуляция свободного железа происходит за счет привноса его с почвенно-грунтовыми водами и более глубокой трансформации минеральной части, то есть более развитому оксидогенезу.

В аллювиальных почвах центральной части Русской равнины, И.В. Ишкова [110], изучила профильное распределение оксалаторастворимых соединений железа. Автором установлено накопление аморфных соединений железа в горизонтах с нейтральной и слабощелочной реакцией среды в присутствии карбонатов.

Таким образом, оксидогенез железа определяется целым рядом факторов, среди которых ведущую роль играют окислительно-восстановительные условия, активность микробиологических процессов, гранулометрический состав почв и пород. Этот почвообразовательный процесс имеет зональные признаки, которые пока исследованы ограниченно. Предло-

жен большой перечень критериев проявления оксидогенеза, разработаны шкалы оценки степени проявления оксидогенеза на разных уровнях, которые, в основном, носят глобальный характер, то есть характеризуют процесс для почв земного шара, и не всегда учитывают региональные особенности почвообразования. Изученность оксидогенеза в аллювиальных почвах меньше, чем в зональных. Продукты оксидогенеза – оксиды и гидросиды принимают значительное участие в аккумуляции тяжелых металлов в почве, их роль в этом процессе в аллювиальных почвах изучена фрагментарно.

1.3. Эколого-геохимическое значение аллювиальных почв

Долины рек являются отражением геохимических особенностей водосборов, через которые проявляются закономерности географических зон и их естественные гидрологический и химический режимы [51, 82, 121]. Поэтому поймы рек часто рассматриваются в качестве полигонов геохимического мониторинга при оценке степени антропогенного (техногенного и сельскохозяйственного) воздействия на речные системы [10, 277]. Среди приоритетных загрязнителей речных бассейнов особенно выделяются тяжелые металлы [82].

К тяжелым металлам (ТМ) относят рассеянные элементы с относительной атомной массой более 50 а.е.м., как выполняющие биологические функции в организме, так и не имеющие таковых [59, 108, 216, 248]. Наиболее типичные металлы-загрязнители почв – Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, Co, Sn, Cu, V [4, 13, 27, 80, 169, 240].

Основные источники загрязнения почв ТМ можно условно объединить в две группы: естественные природные, которые определяют фоновое содержание ТМ в почве, и антропогенные, включающие предприятия топливно-промышленного комплекса, транспорта, металлургии, сельскохозяйственного производства и др. [111, 167, 265, 298].

Л.А. Изерская [107] установила, что формирование профиля аллювиальных почв Средней Оби протекает в сложной биогеохимической обстановке. Особенности распределения ТМ в профиле почв пойм, по сравнению с водосборами, обусловлены дифференциацией химических элементов и соединений в почвах речной долины; активным гипергенным минералообразованием; связью химического состава речных осадков и аллювиальных почв; связью почвенных разновидностей и процессов почвообразования с аллювиальными и аллювиально-геохимическими фациями; а также концентрацией или рассеянием химических элементов в почвах речных долин. Очевидно, что эти закономерности с некоторыми оговорками будут характерны и для долин других равнинных рек.

Взаимосвязь состава речных отложений и почв особенно сильно выражена при учете геологических и геохимических факторов. Среди геологических – это выходы коренных горных пород, характер их эрозии, состав породообразующих минералов. Химические элементы выносятся из пород не только близко прилегающих к поймам надпойменных террас и коренных берегов того же природного района, но также при большой протяженности реки приносятся из других природных районов, нередко из других почвенно-географических зон [83, 88, 157, 288]. В поймах рек имеет место геохимический вынос и накопление на более низких геоморфологических отметках Ni, Zn, Cu, Pb, Mn и Cr или, по определению М.А. Глазовской [59], на более низких каскадных ландшафтно-геохимических системах.

Состав речных вод является индикатором техногенных процессов в долине и на водоразделах и влияет на геохимическое состояние среды и ее экосистем [78, 232]. Виды и объемы изменений химического состава речных вод определяются, прежде всего, характером источника загрязнения [233, 264]. Формирование техногеохимических аномалий в поймах

рек происходит в основном из-за залповых сбросов в речную сеть промышленных и бытовых отходов. Отличительными показателями таких ореолов и аномалий являются: наличие химических элементов и соединений, не свойственных природной окружающей среде, пространственная связь с городами, промышленными центрами и другими местами техногенной активности [7, 59].

Поверхностный сток с городских территорий загрязняет речную сеть Fe, Pb, Zn, Cu и другими ТМ. В среднем загрязнители сточных вод представлены в виде 40% взвешенных, 10-20% коллоидных и 40-50% растворенных веществ [210].

На поступление ТМ в почвы пойм определенное влияние оказывает степень антропогенной нагрузки на водосборную территорию [285]. Так, в Московской области существуют значительные зоны локального загрязнения ТМ почв пойм рек Москвы, Оки, Клязьмы, Лопасни, Нары. Это связано как с естественными геохимическими особенностями почв, так и с привносом поллютантов извне в результате применения высоких доз минеральных удобрений при выращивании овощных культур, а также с использованием для полива почв сельскохозяйственных угодий речных вод, загрязненных промышленными стоками [199]. П.Н. Балабко [19] установил, что в результате сельскохозяйственной деятельности в почвы пойм в значительном количестве поступают ТМ с удобрениями и химическими средствами защиты растений, что, в первую очередь, приводит к повышению концентраций подвижных форм ТМ в речных илах и наилах.

Миграция ТМ в речной долине происходит в тесной взаимосвязи компонентов системы: речные воды – осадки – аллювиальные почвы – растения. Интенсивность миграции определяется такими параметрами, как водный режим, реакция среды, содержание в почвенном растворе подвижных веществ, аэрация и окислительно-восстановительный потен-

циал, гранулометрический состав и характер его изменения по профилю [104, 156, 170, 271, 273].

Аккумуляция ТМ происходит в почве при повышении содержания стабильного органического вещества, увеличении концентрации почвенного раствора и содержания ила [120]. В качестве геохимических факторов выступают – рН- и Eh-условия, **процессы образования марганцевых и железистых оксидов и адсорбция ими микроэлементов**, соосаждение металлов с CaCO_3 в местах развития известняков. Отмечено также, что на повышенное содержание Zn и Mn оказывает влияние мобилизация этих элементов при низких значениях Eh в болотных почвах водосборных территорий [136].

Важную роль играют почвообразовательные процессы: гидрогенная миграция и аккумуляция веществ, подпитывание почвенной толщи грунтовыми водами, обогащенными микроэлементами [108, 202]. В почве существует набор реакционных центров, способных поглощать ионы ТМ с образованием связей различной прочности [192]. Среди носителей ТМ основную роль играют гумусовые вещества и глинистые минералы, **оксиды Mn и (гидр)оксиды Fe**. Последние выполняют важную роль в фиксации ТМ в **Fe-Mn-ортштейнах** [234].

В.В. Добровольский [81] изучал роль воды в процессах миграции, перераспределения и накопления ТМ в профиле аллювиальных почв. Жизненно важные и токсичные элементы, не задействованные в биологическом круговороте на водоразделах, с грунтовыми и поверхностными водами поступают в поймы, где частично закрепляются в почвах. При инфильтрации паводковых вод также происходит их вынос в растворенном коллоидном и суспензионном состояниях из одних почвенных горизонтов в другие, и даже за пределы почвенного профиля. Распределение микроэлементов по генетическому профилю аллювиальных почв довольно разно-

образно. В почвах с однородным гранулометрическим составом отмечается сравнительно равномерное распределение ТМ по профилю, тогда как в почвах с явным влиянием биогенной и гидрогенной аккумуляции в разных горизонтах отчетливо выражены значительные колебания содержания ТМ. В отличие от почв водораздельных территорий, накопление поллютантов в нижних горизонтах профиля аллювиальных почв происходит за счет гидрогенной аккумуляции из грунтовых вод [30].

По данным Б.П. Ахтырцева [13], накопление ТМ зависит от геоморфологического положения почвы в пойме реки. Наименьшим содержанием ТМ характеризуются слаборазвитые почвы приустьевья и почвы надпойменных песчаных террас. Аллювиальные дерновые слоистые почвы в поймах Дона, Сейма и других рек лесостепи Русской равнины отличаются неравномерным распределением ТМ по вертикальному профилю, обусловленным чередованием неоднородных по гранулометрическому составу и свойствам слоев. Аллювиальным луговым почвам тяжелого гранулометрического состава свойственно высокое накопление ТМ вследствие их закрепления в условиях нейтральной реакции, значительной гумусированности. Эти почвы характеризуются относительно равномерным распределением ТМ в почвенном профиле. Для аллювиальных дерновых почв характерен аккумулятивный тип радиальной дифференциации ТМ в сочетании с концентрированием Mn, Zn, Ni, Cd в горизонтах, выполняющих роль геохимических барьеров [126]. Погребенные глинистые осадки в почвах пойм являются водоупорами и аккумулируют ТМ, инфильтрованные атмосферными и паводковыми водами из верхней части почв.

В аллювиальных луговых почвах Рязанской области отмечено равномерное распределение Zn, Cu, Cd, Cr, Mn в метровой толще почвенного профиля [144]. Ю.А. Мажайский объясняет это сравнительной однородностью гранулометри-

ческого и минералогического состава почв. Нарушение однородности распределения происходит под влиянием биогенной аккумуляции Cu, Mn, Zn, Cd, Pb в верхней части гумусового горизонта. В аллювиальных почвах притеррасной поймы гидrogenная аккумуляция проявляется в накоплении ТМ в глеевом горизонте. Максимумы в содержании ТМ и железа не совпадают, что может быть объяснено различной реакцией ТМ на редокс-условия [126, 144]. Для аллювиально-луговых почв характерны следующие ассоциации ТМ: в иллювиальном горизонте – Cu, Ni, Mn, Co, Zn, V, Mo, Sr, Ba; в глеевом – Co, Ni, Cu; в горизонте гидrogenной аккумуляции – Cu, Mn, Ni, Ba [121].

Л.А. Изерская [107], при изучении аллювиальных почв Средней Оби, установила, что повышенное содержание ТМ характерно для тяжелых по гранулометрическому составу, хорошо гумусированных почв, пониженное – для легких почв, содержащих небольшое количество гумуса. В аллювиальных дерновых глеевых почвах, переходной от центральной к притеррасной части поймы р. Оби, ТМ распределяются по гидrogenно-аккумулятивному типу. Такой тип распределения обусловлен высоким залеганием грунтовых и застоем паводковых вод в межгрядных понижениях центральной поймы. Степень нарушения геохимического равновесия в аллювиальных почвах и характер поступления микроэлементов зависят от региональных техногенных нагрузок и сочетания эмиссии микроэлементов [50, 78]. Наибольшее содержание Cu, Zn и Mn наблюдается в иловато-болотных почвах, что объясняется, главным образом, привносом элементов с прилегающих территорий

Накопление ТМ зависит не только от генезиса почв, но и от свойств самих элементов. Аллювиальные почвы характеризуются рядом особенностей концентрации ТМ. По данным Ю.А. Мажайского [144], для Fe, Mn, Ba, V, Ni, Cu характерен биогенно-аккумулятивный тип распределения в почвах при-

русловой и центральной частей поймы. В аллювиальных дерновых глеевых почвах, переходных от центральной к притеррасной части поймы, изученные элементы распределяются по гидрогенно-аккумулятивному типу.

В аллювиальных почвах рек Колвы и Вишеры на севере Пермского края, по данным А.И. Паутова [177], валовое содержание Cr составляет 100-300 мг/кг, Ni – 40-100 мг/кг, и Cu – 20-40 мг/кг, что превышает кларк для почв по А.П. Виноградову в 1,5-2 раза. Сходные данные приводит Ю.К. Попов [196] для почв пойм рек Камы и Обвы. Б.М. Осовецким [170, 171], Е.А. Меньшиковой [148], М.Н. Власовым [35], А.Н. Чащиным [242], изучено техногенное загрязнение ТМ пойм рек на территории городов Пермского края. Выявлено увеличение содержания Zn, Pb, Cu, Sn, Mn в аллювиальных почвах г. Перми и г. Чусового по сравнению с аналогичными почвами пригородных зон.

Таким образом, аллювиальные почвы имеют сложный генезис. В процессе формирования их профиля проявляется комплекс почвообразовательных процессов, в том числе, связанных с трансформацией соединений железа: оглеение, оруденение, ожелезнение, накопление подвижных форм (гидр)оксидов, конкрециеобразование и др. Особенности оксидогенеза железа и марганца в аллювиальных почвах в полной мере не охарактеризованы, причины этого могут быть следующие:

- оксидогенез сложно сочетается с рядом других элементарных почвообразовательных процессов, в которых участвует железо; часто трактуется как их составная фаза и как самостоятельный процесс не диагностируется;
- высокая дисперсность (гидр)оксидов железа и марганца определяет сложность их изучения; малая доступность современных методов идентификации для массового определения фазового состава оксидов и гидроксидов огра-

ничивает возможность получения достоверной информации о их фазовом составе;

– отсутствие комплексных исследований оксидогенеза, которые включали бы физические, химические и электронно-микроскопические методы анализа, а также оценку динамики кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий почвообразования;

– сложный генезис аллювиальных почв, так как в их образовании участвуют не только зональные биоклиматические и литогенные факторы, но и факторы поемности и аллювиальности.

Авторы монографии рассматривают оксидогенез железа как самостоятельный почвообразовательный мезопроцесс формирования профиля почв пойм.

В условиях развитой промышленности Среднего Предуралья и высокой техногенной нагрузки на окружающую среду аллювиальные почвы аккумулируют тяжелые металлы. Вместе с тем, загрязнение ТМ аллювиальных почв Среднего Предуралья остается мало изученным как по количеству элементов, так и по объему информации, а участие (гидр)оксидов железа в накоплении тяжелых металлов не оценено.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ПОЙМАХ РЕК КАМЫ, ОБВЫ И ВЕРХНЕЙ МУЛЯНКИ

2.1. Условия почвообразования и аккумуляции тяжелых металлов (ТМ) в бассейнах рек

Основными методами изучения процессов оксидогенеза и эколого-геохимической характеристики почв пойм были выбраны метод режимных наблюдений и метод трансект - исследования состава, свойств и режимов почв на площадках прямоугольной, сильно вытянутой формы, пересекающих основные элементы рельефа поймы. Изучались почвы правобережной части пойм рек Камы, в пределах Воткинского водохранилища, Обвы и Верхней Мулянки (В. Мулянки). Поймы рек расположены в центральном (третьем) геоморфологическом районе Пермского края. Пунктирные трансекты протяженностью около 400–500 м расположены по направлению от первой надпойменной террасы к руслу (рисунок 1). В каждой трансекте было заложено по три разреза почв разной степени гидроморфизма.

Первая трансекта расположена на расстоянии около 2 км выше по течению от коммунального моста через р. Каму на участке поймы между ул. Рыбацкая и побережьем Воткинского водохранилища в Ленинском районе г. Перми. Изучены: аллювиальная перегнойно-глеевая типичная (разр. 41, координаты: широта N58°01'44,52", долгота E56°14'32,57", абсолютная высота 90 м), аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая легкоглинистая (разр. 42, N58°01'46,32", E56°14'33,83", 90 м), аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая (разр. 43, N58°01'44,87", E56°14'35,37", 90 м) почвы [118].

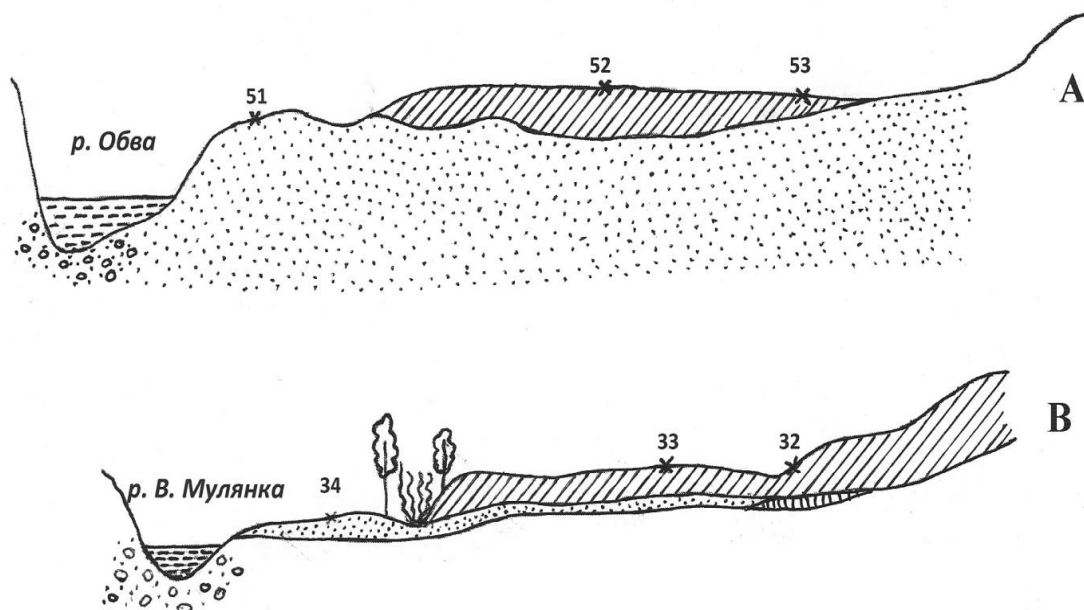


Рисунок 1. Схема расположения разрезов по элементам рельефа трансект в поймах рек Обва (А) и Верхняя Мулянка (В).
32-34, 51-53 – номера разрезов

Вторая трансекта расположена в Карагайском районе Пермского края в пойме среднего течения р. Обвы на расстоянии 15 км к западу от с. Карагай и 130 км к северо-западу от г. Перми. Изучены: аллювиальная серогумусовая глеевая типичная среднесуглинистая (разр. 51, N58°16'42,14", E54°41'18,78", 127 м), аллювиальная серогумусовая типичная легкоглинистая (разр. 52, N58°16'47,34", E54°41'47,94", 125 м), аллювиальная слоистая типичная супесчаная (разр. 53, N58°16'56,54", E54°42'18,22", 125 м) почвы.

Третья трансекта находится в Пермском районе Пермского края в пойме среднего течения р. В. Мулянки в 5 км к юго-западу от г. Перми. Изучены: аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная (разр. 32, N57°55'42,57", E56°13'20,86", 105 м), постагрогумусовая аллювиальная глееватая среднесуглинистая (разр. 33, N57°55'39,21", E56°13'16,61", 103 м) и аллювиальная слоистая типичная легкосуглинистая (разр. 34, N57°55'35,75", E56°13'15,31", 103 м) почвы.

При выборе объектов исследований учитывалось, что загрязнение почв пойм тяжелыми металлами зависит от состояния окружающей среды. В пределах г. Перми, Пермского и Карагайского районов экологическая ситуация по загрязненности водных объектов и атмосферного воздуха территории оценивается, соответственно, как напряженная, удовлетворительная и благоприятная [76] (приложение 1).

Объекты исследований располагались в пределах южной тайги Среднего Предуралья. Южная тайга Среднего Предуралья занимает равнинную часть Пермского края и Удмуртской республики от 58° до 56° с. ш. и представляет собой повышенную территорию в пределах восточной части Русской равнины. Восточная граница Среднего Предуралья сливается с зоной предгорной части Уральского хребта [200, 239]. В соответствии с почвенно-географическим районированием Пермского края, изученные участки пойм находятся в пределах Вятско-Камской провинции южно-таежной подзоны дерново-подзолистых почв [49].

По своим гидрологическим характеристикам реки Кама, Обва и Верхняя Мулянка являются соответственно крупной, средней и малой реками южной тайги Среднего Предуралья.

Бассейн р. Камы (в пределах Воткинского водохранилища). Река Кама – крупнейший левый приток р. Волги. Длина реки, в современном зарегулированном состоянии, составляет 1805 км. Общая площадь бассейна равна 507 тыс. км². Рельеф водосбора слабохолмистый, с обширными низменными равнинами и всхолмленными возвышенностями. Верхняя часть бассейна сильно заболочена. Долина р. Камы хорошо разработана и имеет низкие высотные отметки – в ряде мест не более 70-75 м над уровнем моря. Ширина ее достигает 10-15 км. В ней хорошо развита пойма и надпойменные террасы [125]. В центральной части Пермского края река Кама протекает в пределах Воткинского водохранилища. Ниже Камской ГЭС практически на всем протяжении реки в пределах г.

Перми развиты высокая и низкая поймы. Они морфологически хорошо выражены и имеют довольно ровные поверхности. Подошва аллювиальных отложений пойм ниже межени уровня воды на 5-12 м. Абсолютные отметки поверхности высокой поймы 92-96 м, относительные высоты 7-11 м. Поверхность часто осложнена микроформами: прирусловыми валами, озерками. Низкая пойма представляет собой песчаные отмели, косы, пляжи. Абсолютные отметки ее поверхности 87-90 м, относительные высоты до 4-5 м [28]. Приток в водохранилище почти полностью зарегулирован, так как 92% водосборной площади регулируется расположенной выше Камской ГЭС и ее водохранилищем. Площадь Воткинского водохранилища 1120 км², объем – 9,4 км³, длина – 365 км, наибольшая ширина – 9 км, в пределах г. Пермь ширина водохранилища составляет 500-600 м; средняя глубина – 8,4 м. Уровень воды в водохранилище колеблется в пределах 4 м и зависит от водосброса через шлюзы Камской ГЭС. Водохранилище весной наполняется до нормального подпорного горизонта (89,0 м абс.), во время больших половодий возможен подъем до подпорного горизонта (на один метр выше нормального подпорного горизонта) и затопление части поймы р. Камы. Зимой наблюдается понижение уровня до горизонта сработки – 85,0 м абс. [36]. Влияние Воткинского водохранилища на переувлажнение почв проявляется в подпоре капиллярной каймы грунтовых вод. Поемные процессы наблюдаются на участке водохранилища руслового типа в периоды максимального подъема уровня воды.

Долина р. Камы в центральной части Пермского края, согласно географо-гидрологическому районированию территории по А.С. Шкляеву [258], находится в пределах Среднекамского округа. Рельеф гидрологического округа всхолмленный, перепады высот небольшие, уклоны притоков р. Камы тоже невелики. Густота речной сети в бассейне р. Камы – 0,5-0,6 км/км².

Характерной особенностью Среднего Предуралья, в отличие от центральных и западных областей таежно-лесной зоны Русской равнины, является более выраженная континентальность климата. Зима здесь продолжительная, холодная и многоснежная, а лето сравнительно короткое, умеренно теплое [159, 244, 258]. По данным метеостанции г. Перми средняя температура воздуха в январе $-15,1^{\circ}\text{C}$, в июле $+18,1^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура $+1,5^{\circ}\text{C}$. За год выпадает в среднем 600 мм осадков, из них 275 мм – за вегетационный период. Гидротермический коэффициент по Селянинову составляет 1,3-1,4 [2].

По данным И.А. Печеркина [190], в окрестностях г. Перми коренными породами являются верхнепермские отложения шешминского комплекса уфимского яруса, в литологическом отношении представленного частым чередованием зеленовато-серых, средне- и мелкозернистых песчаников; буровато-коричневых, обладающих слоистостью алевролитов, аргиллитоподобных глин с маломощными прослоями мергелей и известняков.

В аллювиальных отложениях развиты обычно поровые грунтовые воды, отличающиеся небольшой глубиной залегания. Подземные воды в зоне активного водообмена по химическому составу – гидрокарбонатно-кальциевые, жесткость их достигает 5,0 мг-экв, минерализация вод шешминского комплекса уфимского яруса – до 1,0 г/л. Реакция речных и грунтовых вод нейтральная и слабощелочная [254].

Территория бассейна р. Камы, в районе Воткинского водохранилища, в г. Перми расположена в подзоне смешанных южно-таежных пихтово-еловых лесов с мелколиственными породами и липой в древесном ярусе [75, 166]. Лесистость бассейна составляет 80%, болота приурочены, в основном, к долинам рек.

Бассейн р. Обвы относится к Иньвенско-Обвинскому гидрологическому округу [258]. Реки данного округа имеют

выраженное, как правило, однопиковое и высокое половодье, продолжительностью в среднем 36 суток. Длина Обвы 247 км со средним уклоном русла 0,5 м/км. Обва относится к рекам второго порядка, впадает в р. Каму на 780-м км от устья. Бассейн водосбора р. Обва около 6720 км². Средний модуль стока 7,5 л/сек с квадратного километра, что составляет 1,8 км³ стока воды в год. Обва относится к рекам, главным образом, атмосферного питания, поэтому она имеет резко выраженный максимум стока в весеннее половодье.

По данным метеостанции г. Верещагино, среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца (января), на территории бассейна р. Обвы, составляет –15,4°С [2]. Самым теплым месяцем является июль, его средняя температура +17,9°С, среднегодовая температура воздуха составляет +1,2°С. Среднее многолетнее годовое количество осадков на территории бассейна – 575 мм, из них 250 мм выпадает за период с температурой выше 10°С. Территория по условиям увлажнения относится к зоне достаточного увлажнения – ГТК 1,4-1,6.

Коренными породами территории бассейна р. Обвы являются отложения татарского яруса пермской геологической системы [55, 190, 249]. Они представлены красноцветными глинами и суглинками, часто плитчатого строения, мергелями крупно-ореховатой или глыбистой формы с белыми зернами извести и линзами голубого и серого карбонатного песчаника, среди которого встречаются шаровидные отдельности диаметром 40-60 см слоистого строения, цементированные оксидами железа.

Подземные воды в зоне активного водообмена по химическому составу – гидрокарбонатно-кальциевые, жесткость их достигает 5,0 мг-экв, минерализация вод татарского комплекса – до 0,5-0,6 г/л. Реакция речных и грунтовых вод нейтральная и слабощелочная. Грунтовые воды в поймах имеют высокий уровень. В центральной части поймы они находятся на

глубине 2-2,5 м – на возвышениях и на уровне 0,5-1 м – в ложбинах, что обуславливает избыточное увлажнение и заболачивание ложбин и западин. Ближе к руслу уровень грунтовых вод постепенно снижается, и устанавливается на уровне меженного стояния реки [254].

Долина р. Обвы имеет развитую пойму асимметричного строения и четыре надпойменные террасы. Пойма, по описанию Ю.К. Попова [196], представляет собой равнину, шириной до 3 км, относится к группе сегментно-гравистых, к типу ступенчато-гравистых пойм, так как имеет ясно различимые возрастные ступени. Строение поверхности ровное, рассеченное многочисленными ложбинами и блюдцеобразными западинами неправильной конфигурации, представляющими собой заросшие старицы и озера, как результат блуждания русла реки. Прирусловая часть, шириной до 100-150 м, резким уступом отделяется от центральной, более высокой части поймы; эта молодая пойма низкого уровня является наиболее динамичной. Она состоит из отдельных сегментов, выгнутые части которых являются местами накопления песчаных аллювиальных отложений, а противоположные вогнутые берега обычно подвергаются размыву и разрушению. Центральная пойма, более выровненная и старая, имеет плоскогравистое строение и распространяется на 1-1,5 км. Притеррасная часть поймы имеет понижение и заболачивание за счет грунтовых вод.

Территория бассейна р. Обвы расположена в районе южно-таежных пихтово-еловых лесов [166]. Безлесные водоразделы и их склоны заняты пашней. В долине реки расположены обширные пойменные луга.

Бассейн р. В. Мулянки. Река В. Мулянка впадает в Воткинское водохранилище с его левой стороны на расстоянии 672 км от устья р. Камы. Бассейн реки расположен на левобережье Воткинского водохранилища в районе г. Перми и вытянут с юга на север. Площадь водосбора реки 467 км², длина – 52 км со средневзвешенным уклоном 1,01%. Поверхность бас-

сейна представляет собой всхолмленную равнину с разностями высот 20-50 м и, в основном, занята сельскохозяйственными угодьями. По данным Паспорта санитарно-технического состояния... [172], русло реки сильноизвилистое, врезано незначительно и вскрывает лишь верхние горизонты подземных вод. Берега в среднем течении крутые и обрывистые, их высота колеблется от 1,5 до 4,5 м, и сложены они, в основном, суглинистыми аллювиальными отложениями. Ширина реки в верховьях 3-7 м, в среднем течении – до 15 м. Глубина возрастает от истока до устья от 0,2 до 1,7 м, на плесах – до 3 м. Скорость течения на перекатах изменяется от 0,3 до 0,5 м/с. Река В. Мулянка относится к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летней меженью, прерываемой дождевыми паводками, устойчивой и довольно продолжительной зимней меженью. Весеннее половодье начинается в апреле и продолжается в среднем 20-25 дней. Наивысшие уровни воды наблюдаются, как правило, в конце апреля. В теплый период года, при выпадении обильных дождей, наблюдаются дождевые паводки, сопровождающиеся значительным подъемом уровня воды. В нижнем течении река подпружена Воткинским водохранилищем [206]. Характерными чертами рельефа долины являются, с одной стороны, песчаный прибрежный вал, а с другой, понижение, расположенное вдоль крайнего предела поймы, на границе с возвышающейся надпойменной террасой. Правый берег выше левого, сильнее расчленен увалами, логами и оврагами. Левый берег реки выровненный, также с небольшими увалами. Ширина долины 1,5-2,0 км. По обе стороны от русла простирается область низкой поймы. Пойма реки трапецеидальная, слабоизвилистая, излучины плавные с радиусом закругления 2-3 км. Пойма в верховьях односторонняя, шириной 20-30 м, в среднем течении переходит в двустороннюю, шириной 200-500 м. Левобережная пойма хорошо развита и относительно выровнена, ближе к притеррасью – заболочена.

Берега р. В. Мулянки в прирусловой пойме покрыты ивняками, шиповником, зарослями серой ольхи. Ширина полосы ивняков варьирует от 3 м до 5 м. Травянистая растительность в прирусловой пойме, по описанию А.И. Паутова [183], представлена сорными травами: крапивой двудомной, лопухом паутинистым, пыреем ползучим. В центральной части поймы большое разнообразие луговых растений, таких как мятлик луговой, овсяница луговая, чина, мышиный горошек и др. В пониженной притеррасной пойме располагаются болотные кочковатые луга, образованные осокой тернистой, зарослями щучки дернистой и другой болотной растительности.

Поймы рек Камы и В. Мулянки в районе исследования находятся на небольшом расстоянии друг от друга, поэтому особенности климатических условий территории их бассейнов не различаются, и здесь дополнительно не рассматриваются.

Таким образом, природные условия бассейнов рек Камы, Обвы и В. Мулянки имеют общие черты, характерные для территории центрального геоморфологического района Пермского края: умеренно континентальный климат с преобладанием осадков над испаряемостью; кислые покровные суглинки на водоразделах; гидрокарбонатно-кальциевый химический состав речных и грунтовых вод; холмисто-увалистый рельеф; пихтово-еловые леса с примесью мелколиственных пород; близкое залегание к поверхности коренных пород пермской геологической системы.

В связи с этим, ведущий процесс почвообразования на территории бассейнов рек южной тайги Среднего Предуралья подзолистый, в структуре почвенного покрова преобладают дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы [132]. Проявление подзолистого процесса способствует мобилизации железа, марганца и тяжелых металлов в почвах и их миграцию в грунтовые, а затем и в речные воды. При сложном геоморфологическом строении поймы и периодическом переувлажнении почв за счет паводковых и грунтовых вод проявляются

оглеение, торфообразование и другие почвообразовательные процессы, связанные с периодическими восстановительными редокс-условиями территории речной долины и образованием восстановленных форм Fe(II) и Mn(II). Природные условия территории способствуют проявлению оксидогенеза железа и марганца [293].

Источники поступления тяжелых металлов в аллювиальные почвы региона подразделяются на природные и техногенные. Территория Пермского края по содержанию тяжелых металлов в гумусовом горизонте почв неоднородна. В верхнем течении река Обва протекает в пределах Обвинской геохимической аномальной зоны, которая характеризуется повышенным содержанием в почве Ga, Pb, Ni, Zn, Cu, Mn и Sr [137]. Данная аномалия является преимущественно природной. Обогащенность почв тяжелыми металлами связана с химическим составом палеозойских отложений Предуралья. Изученная трансекта аллювиальных почв в пойме р. Обвы находится за пределами аномалии, в среднем течении реки.

Трансекты в поймах рек Камы и В. Мулянки расположены в границах Среднекамской аномальной геохимической зоны. Для ее территории характерно повышенное содержание в почвах Ni, Cu, Ga, Pb, Zn, Mn, Cr, Ba, Cd, Co. По оценке И.С. Копылова [128], эта аномалия является техногенно-природной.

Загрязнение аллювиальных почв тяжелыми металлами из *техногенных источников* происходит аэральным и гидрогенным путем. Общая масса выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух Пермского края в 2002 г. составила 640,603 тыс. т, а от передвижных источников – 139,573 тыс. т (17,9% от общей массы выброса). Валовой выброс загрязняющих веществ в г. Перми составил 45,29 тыс. т, в Пермском районе – 14,34 тыс. т, в Карагайском районе – всего 0,676 тыс. т [224].

В Пермском районе и в г. Перми основными источниками загрязнения атмосферы являются: ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» (13,445 тыс. т), Пермская ТЭЦ-9 АО «Пермэнерго» (33,513 тыс. т), ОАО «Минеральные удобрения» (1,899 тыс. т), ЗАО «Сибур-химпром» (1,698 тыс. т), ООО «Пермнефтегазопереработка» (1,070 тыс. т), ФГУП «Пермский завод им. Кирова» (0,833 тыс. т), ОАО «Мотовилихинские заводы» (0,520 тыс. т), ООО «Пермский картон» (0,424 тыс. т), ООО «Лукойл-Пермнефть» (1,385 тыс. т). Всего на территории Пермско-Краснокамского промузла в атмосферу выбрасывается 378 наименований загрязняющих веществ, 22 из них относятся к 1 классу опасности [224]. Результаты анализа объема и состава тяжелых металлов в аэральных выбросах на территории Пермского края в открытой печати не приводятся.

Объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты Пермского края за 2002 г. составил 2,4 млрд. м³, в том числе объем сброса загрязненных сточных вод – 402,5 млн. м³ (17% от общего объема сброса), из них без очистки – 89,1 млн. м³. В 2002 г. со сточными водами в водные объекты сброшено 1288,1 тыс. т загрязняющих веществ. Наибольший «вклад» в загрязнение *реки Камы* в верхнем течении вносят предприятия Соликамско-Березниковского промузла. Некоторые притоки р. Чусовой – крупного притока р. Камы, загрязнены шахтными водами Кизеловского угольного бассейна, которые имеют сульфатный железисто-алюминиевый состав, высокое содержание взвешенных веществ и тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Ni и Mn др.).

В 2002 г. общий объем сброса сточных вод предприятиями г. Перми составил 85,2 млн. м³. Всего в Воткинское водохранилище в черте г. Перми было сброшено 60,4 тыс. т загрязняющих веществ. Основными загрязнителями являются: АО «Мотовилихинские заводы» (соли Fe, Zn, Cr, Cu, Ni); АО «Пермские моторы» (соли Fe, Zn, Cr, Cu, Ni); ОАО «Интер-

химпром-оксосинтез», АО «Галоген», АО «Пемос», АО «Минеральные удобрения», АО «Камтекс», ОАО «Камский целлюлозно-бумажный комбинат», ОАО «ЛУКойл-Пермнефть», Наибольший «вклад» в загрязнение р. Камы, в черте г. Перми, вносит МП «Новогор-Прикамье». Объем его сброса сточных вод составляет 55 млн. м³, из которых 53,8 млн. м³ сбрасываются без очистки. Со сточными водами предприятия в Каму в 2002 г. сброшено 40,4 тыс. т загрязняющих веществ (67% от общего валового сброса по городу). В целом, со стоками от г. Перми в р. Каму в 2002 г. поступило: сухого остатка – 46,44 тыс. т (4% от массы сброса по Пермскому краю), в т.ч. железа – 1,38 тыс. т (98%), меди – 2,4 т (63%), цинка – 9,97 т (74%), никеля – 2,74 т (85%), хрома – 2,52 т (66%), свинца – 1,7 т (72%) [224]. В последующие годы (2003-2012 гг.) объемы выбросов и сбросов от промышленных предприятий существенно не изменились [228].

Качество воды в р. Каме, в пределах Воткинского водохранилища, не отвечает ни нормам для рыбохозяйственных водоемов, ни нормативам хозяйственно-питьевого и санитарно-бытового водопользования. Концентрации наиболее распространенных тяжелых металлов (Mn, Cu) стабильно превышают допустимые нормы. В районе Пермско-Краснокамского промышленного узла качество воды соответствует 4 классу – «вода загрязненная».

В результате поступления тяжелых металлов из аэраль-ных выбросов, с твердым и жидким стоком в реках формируется состав донных осадков, который отражает геохимическую и техногенную ситуацию в их бассейне. Качественный состав донных отложений определяет величину депонирования поллютантов и их поступление в водные массы, биоту и прилегающие к водоему почвы. В донных отложениях Воткинского водохранилища, по данным Н.Н. Назарова [161], наибольшие концентрации характерны для Bi, Sb, Ag, Mn и Ba (коэффициенты концентрации (K_X) 8,0-52,8).

В Пермском районе объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты в 2002г. составил 113,23 млн. м³. Основная масса сброса загрязняющих веществ 56,3 тыс. т или 89,6% от сброса района [224]. Основными источниками загрязнения реки В. Мулянки являются: 1) предприятия промышленной зоны (ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», ЗАО «Сибур-Химпром», ОАО «Минеральные удобрения», ООО «Пермнефтегазопереработка», ООО «Пеноплекс-Пермь»); 2) неорганизованные и организованные ливневые и талые воды с территории ГПЗ «Верхне-Муллинский»; 3) бытовые коммунальные стоки; 4) ТЭЦ-9.

Река В. Мулянка в верхнем и среднем своем течении характеризуется III классом качества вод, на устьевом участке перед впадением в р. Каму – III класс, разряд «б» (очень загрязненная), и не пригодна для хозяйственно-бытовых и промышленных целей. Здесь отмечается превышение ПДК по содержанию в воде кадмия (в 6 раз), хрома (в 3,9 раза), цинка (в 1,7 раза). Выявлено устойчивое загрязнение воды р. В. Мулянки марганцем, медью и стронцием [77].

Данные по качеству воды в *реке Обве*, на территории Карагайского района, в печатных изданиях не приводятся. Небольшие объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов в поверхностные водоемы, за счет развития на данной территории преимущественно сельскохозяйственных предприятий, позволяют предположить, что вода в р. Обве из техногенных источников загрязнена в значительно меньшей степени, чем в Каме и В. Мулянке.

Таким образом, на территории Среднего Предуралья техногенные источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами сочетаются с повышенным содержанием тяжелых металлов в коренных породах пермской геологической системы.

2.2. Состав и свойства почв пойм

Для изучения морфологических свойств почв и отбора индивидуальных образцов были заложены полнопрофильные разрезы глубиной 120-210 см в соответствии с рекомендациями по диагностике почв [118, 195]. Оценка окраски почв при полевом описании разрезов проведена в соответствии со стандартными цветовыми шкалами Росгипрозем [9].

Морфологическая характеристика почв. Морфологические признаки изучаемых почв отражают цикличность образования аллювия, неоднородность гидрологических условий на разных сегментах поймы, степень проявления почвообразовательных процессов.

Пойма р. Камы. Разрез 41. Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная на среднесуглинистом аллювии. Место закладки разреза – межгрядное понижение в центральной пойме. Глубина разреза 130 см. Растительность – разнотравно-осоковая: лабазник вязолистный, хвощ болотный, гравилат речной, лисохвост луговой, осока лисья, осока колючковатая, осока удлиненная.

Н, 0-23 см. Влажный, буровато-черный, состоит из перегнойного мажущегося материала, рыхлый, переход в нижележащий горизонт заметный по цвету и степени разложения.

[Т], 23-89 см. Влажный, очень темно-бурый древесно-осоковый торф (степень разложения 25-35%), редко – бурые прослойки песчано-пылеватого мелкозема мощностью 5-10 мм, рыхлый, слабо пронизан корнями, переход резкий по цвету и составу горизонта, граница перехода ровная.

G[~], 89-110 см. Влажный, темно-оливково-серый с ярко-охристо-бурыми пятнами, потеками гумуса в верхней части, среднесуглинистый, бесструктурный, плотный, переход постепенный.

C1g[~], 110-130 см. Сырой, темно-оливково-бурый с обильными ярко-охристо-бурыми и серовато-сизыми примазками, среднесуглинистый, бесструктурный.

Разрез 42. Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая легкоглинистая на слоистом легкоглинистом, тяжелосуглинистом аллювии. Место закладки разреза – выровненный участок плоской гривы. Глубина разреза 75 см. Растительность – разнотравно-злаковая: клевер средний, чина весенняя, погребок малый, подмаренник мягкий, вероника дубравная, подорожник большой, овсяница луговая, ежа сборная, мятлик луговой.

AУg, 0-25 см. Влажный, буровато-серый с сизоватым оттенком, легкоглинистый, комковато-зернистый, уплотнен, в верхней части (0-10 см) пронизан корнями травянистых растений, переход заметный по изменению окраски, граница перехода ровная.

C1g[~], 25-31 см. Увлажнен, темно-бурый с серовато-сизым оттенком, равномерно по всему горизонту ржавые и сизые пятна, легкоглинистый, комковато-зернистой структуры, уплотнен, по всему горизонту ходы дождевых червей и корни растений, переход заметный по изменению окраски и структуры.

Gfn[~], 31-55 см. Увлажнен, темно-бурый, легкоглинистый, крупно-комковатый, в горизонте равномерно распределены крупные светло-бурые трубчатые конкреции (занимающие около 10% объема почвы), на изломе видны концентрические кольца разной окраски – от светло-бурой до черной, диаметр роренштейнов достигает 7 мм, длина – 30 мм, переход по окраске постепенный.

C2g[~], 55-75 см. Сырой, охристо-бурый с серовато-сизым оттенком, тяжелосуглинистый, комковато-ореховатый, плотный.

Разрез 43. Аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая на слоистом средне- и легкосуглинистом аллювии. Место закладки разреза – прирусловая пойма. Глубина разреза – 190 см. Растительность – злаково-разнотравная: крапива двудомная, чертополох курчавый, борщевик обыкновенный, па-

стернак посевной, вейник наземный, сныть обыкновенная, пижма обыкновенная, чистотел большой, ежа сборная, пырей ползучий.

AУ, 3-23 см. Увлажнен, буровато-серый, легкоглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, густо пронизан корнями, переход постепенный по окраске.

C1[hh]~, 23-31 см. Увлажнен, буровато-серый, среднеглинистый, зернисто-комковатый, уплотнен слабо, по всему горизонту ходы дождевых червей и корни растений, переход заметный по изменению окраски.

C2[hh]~, 31-44 см. Увлажнен, очень темно-серый, среднесуглинистый, комковатый, плотный, редко корни, переход ясный по окраске.

C3~, 44-80 см. Увлажнен, бурый, легкоглинистый, со слабовыраженной комковатой структурой, плотный, местами корни, переход неясный по окраске и гранулометрическому составу.

C4g~, 80-120 см. Увлажнен, бурый с ярко-охристо-бурыми и серовато-сизыми примазками, тяжелосуглинистый, плотный, слоистый (прослойки песка), переход постепенный.

C5g~, 120-170 см. Увлажнен, охристо-бурый с серовато-сизыми и ярко-охристо-бурыми примазками, среднесуглинистый, бесструктурный, уплотнен, переход заметный по окраске.

C6g~, 170-190 см. Влажный, бурый с ярко-охристо-бурыми и серовато-сизыми примазками, легкосуглинистый, бесструктурный, плотный, вязкий, постепенно переходит в буровато-желтую песчано-суглинистую толщу.

Пойма р. Обвы. Разрез 51. Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая профильно-оглеенная среднесуглинистая на слоистом средне- и тяжелосуглинистом аллювии. Место закладки разреза – 500 м от русла реки, притеррасная пойма. Глубина разреза 100 см. Растительность – разнотравно-осоковая: гравилат речной, таволга вязолистная, щучка дерни-

стая, сабельник болотный, щавель конский, лабазник вязолистный, кипрей волосистый, купырь лесной, осока заячья, осока стройная, осока острая, ольха серая, ива пятитычинковая, ива остролистная, ива белая.

AУg, 0-22 см. Увлажнен, очень темно-серый, зернистый, среднесуглинистый, рыхлый, переход в следующий горизонт заметен по изменению окраски и структуры (рисунок 2).

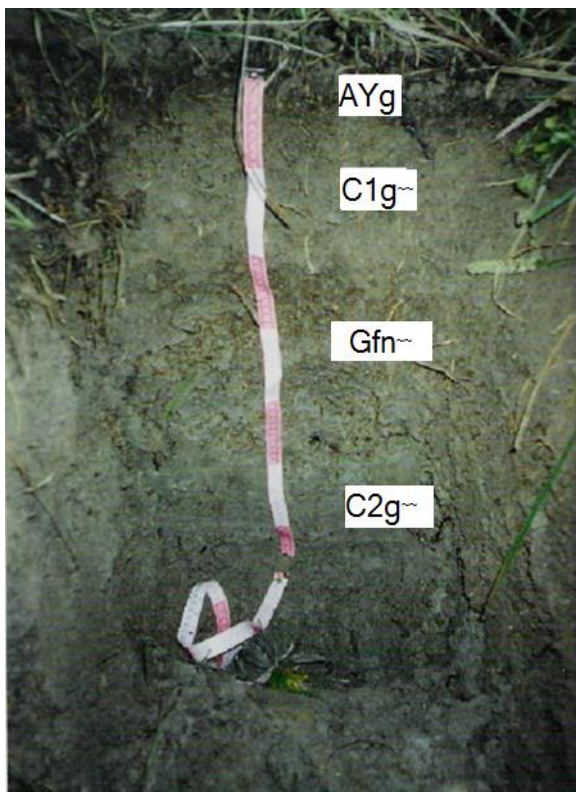
C1[hh]g[~], 22-37 см. Влажный, бурый с серовато-сизыми и ярко-охристо-бурыми пятнами, среднесуглинистый, комковатый, рыхлый, много корней растений по всему горизонту, переход заметный по гранулометрическому составу и плотности.

C2g,fn[~], 37-75 см. Влажный, бурый, с ярко-охристо-бурыми и серовато-сизыми пятнами диаметром до 2 см, тяжелосуглинистый, комковатый, уплотнен, очень много железистых новообразований в виде роренштейнов различного диаметра от 5 до 20 мм и длины до 50 мм, корней мало, переход заметный по изменению окраски и плотности.

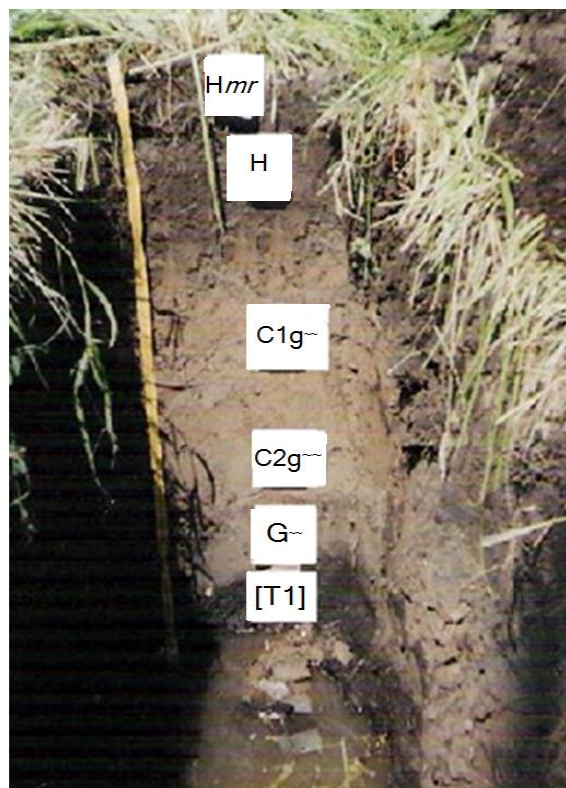
G[~], 75 – 100 см. Мокрый, зеленовато-серый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, плотный, тонкие поры, единично встречаются новообразования железа в виде тонких трубочек диаметром до 5 мм, с глубины 92 см сочится вода.

Разрез 52. Аллювиальная серогумусовая типичная легкоглинистая на слоистом легкоглинистом, тяжело- и среднеглинистом аллювии. Место закладки разреза – выровненная часть центральной поймы. Глубина разреза 110 см. Растительность – разнотравно-злаковая: клевер средний, чина весенняя, погребок малый, подмаренник мягкий, вероника дубравная, земляника зеленая, подорожник большой, селезеночник очереднолистный, овсяница луговая, лисохвост обыкновенный, ежа сборная, мятлик луговой.

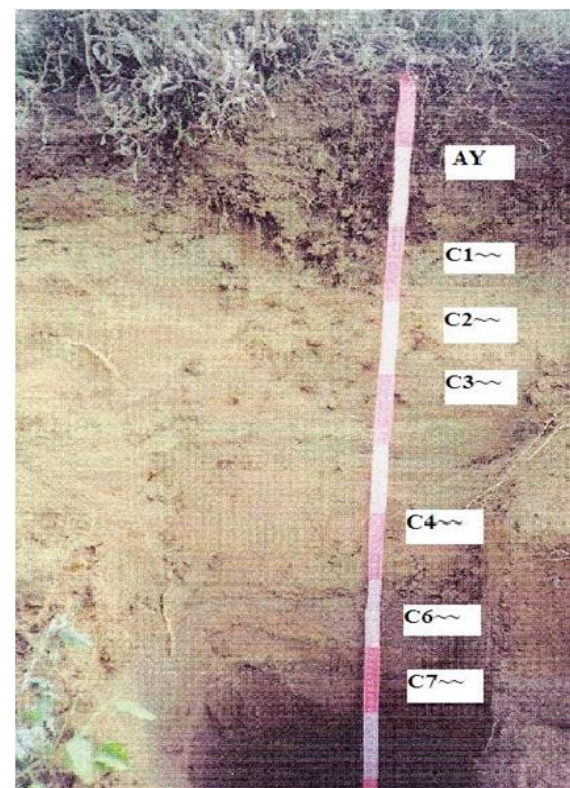
AУ, 0-24 см. Увлажнен, буровато-серый, легкоглинистый, комковато-крупнозернистый, рыхлый, равномерно по всему горизонту корни травянистых растений диаметром 1-2 мм, переход заметен по изменению окраски и структуры.



Аллювиальная серогумусовая
 глеевая оруденелая
 среднесуглинистая,
 разр. 51, Обва,
 притеррасная пойма



Аллювиальная
 иловато-перегнойно-глеевая
 типичная,
 разр. 32, В. Мулянка,
 притеррасная пойма



Аллювиальная слоистая
 типичная супесчаная,
 разр. 53, Обва,
 прирусловая пойма

Рисунок 2. Строение профиля разных типов аллювиальных почв

C1[~], 24-47 см. Влажный, бурый, легкоглинистый, зернистый, рыхлый, тонкие поры, корней мало, переход заметен по окраске.

C2[~] 47-70 см. Влажный, темно-бурый, тяжелосуглинистый, комковатый, рыхлый, корней мало, переход заметен по облегчению гранулометрического состава и изменению структуры.

C3[~], 70-101 см. Влажный, бурый, среднесуглинистый, мелко-ореховатой структуры, слегка уплотнен, переход заметный по изменению окраски и гранулометрического состава.

C4[~], 101-110 см. Влажный, темно-бурый, глинистый, крупнокомковатый, пористый, уплотнен.

Разрез 53. Аллювиальная слоистая типичная супесчаная на слоистом супесчаном, песчаном и легкосуглинистом аллювии. Место закладки разреза – прирусловая пойма. Глубина разреза 100 см. Растительность – злаково-разнотравная: крапива двудомная, чертополох курчавый, борщевик обыкновенный, пастернак посевной, вейник наземный, сныть обыкновенная, пижма обыкновенная, чистотел большой, ежа сборная, пырей ползучий.

W(AУ), 0-20 см. Влажный, буровато-серый, супесчаный, непрочно комковатой структуры, рассыпчатый, по всему горизонту равномерно корни травянистых растений. Переход заметный по изменению окраски и структуры (рисунок 2).

C1[~], 20-37 см. Увлажнен, бурый, легкосуглинистый, комковатый, уплотнен, редко корни травянистых растений, переход заметен по изменению структуры.

C2[~], 27-36 см. Увлажнен, бурый, супесчаный, листовато-пластинчатый, плотный, редко корни, переход заметен по изменению структуры.

C3[~], 36-52 см. Увлажнен, частицы песка неоднородные по окраске: белые, серые и бурые; песчаный, бесструктурный, рассыпчатый, корни единично, переход резкий по гранулометрическому составу.

C4[~], 52-71 см. Увлажнен, неоднородной окраски, чередуются слои мощностью 0,5-1 см бурой и серой окраски, легкосуглинистый, бесструктурный, плотный, переход в следующий горизонт резкий по изменению окраски.

C5[~], 71-78 см. Увлажнен, бурый, легкосуглинистый, бесструктурный, плотный, редко корни, переход заметен по изменению структуры.

C6[~], 78-90 см. Увлажнен, бурый, супесчаный, непрочно-плитчатый, рыхлый, тонкопористый, переход заметный по изменению окраски и облегчению гранулометрического состава.

C7[~], 90-100 см. Слегка увлажнен, состоит из крупного песка бурой окраски, корни единично, бесструктурный, рассыпчатый.

Пойма р. В. Мулянки. Разрез 32. Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная на тяжелосуглинистом аллювии. Место закладки разреза – притеррасная часть поймы. Глубина разреза – 150 см. Растительность - разнотравно-осоковая: лабазник вязолистный, хвощ болотный, гравилат речной, лисохвост луговой, манник складчатый, осока лисья, осока колючковатая, осока заячья, осока удлиненная.

Hmr, 0-15 см. Влажный, очень темно-бурый, состоит из перегнойного мажущегося материала, с прослойками минеральной почвенной массы, рыхлый, переход постепенный по изменению плотности (рисунок 2).

H, 15-32 см. Влажный, буровато-черный, состоит из перегнойного мажущегося материала, рыхлый, редко встречается галька диаметром до 2 см, постепенный переход заметный по изменению окраски.

C1g[~], 32-49 см. Влажный, неоднородный по окраске, чередуются бурые и темно-бурые фрагменты, серовато-сизые пятна, потеки гумуса по корневым ходам, бесструктурный, тяжелосуглинистый, плотный, редко корни травянистых растений, переход заметный по изменению окраски.

C2g[~], 49-78 см. Сырой, буровато-серый с сизоватым оттенком тяжелосуглинистый, мелко-глыбистый, плотный, переход резкий по изменению окраски.

G[~], 78-92 см. Сырой, зеленовато-сизый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, плотный, переход резкий по изменению плотности и окраски.

[T1], 92-110 см. Мокрый, черный древесно-осоковый торф, степень разложения торфа более 35%, мажущийся, рыхлый, переход хорошо заметный по изменению окраски.

[T2], 110-150 см. Мокрый, очень темно-бурый древесно-осоковый торф, со степенью разложения более 35%, мажущийся, уплотненный, с глубины 115 см сочится вода.

Разрез 33. Постагрогумусовая аллювиальная глееватая глубоко-оглеенная среднесуглинистая на слоистом средне-, тяжело- и легкосуглинистом аллювии. Место закладки разреза – центральная часть поймы. Глубина разреза – 150 см. Растительность – травянистая разнотравно-бобово-злаковая: пижма обыкновенная, манжетка обыкновенная, одуванчик лекарственный, герань лесная, лютик ползучий, земляника зеленая, нивяник обыкновенный, клевер красный, свербига восточная, лютик едкий, ежа сборная, вейник наземный, мятлик луговой, кострец безостый, тимофеевка луговая.

AУра, 0-29 см. Увлажнен, интенсивно-бурый, среднесуглинистый, зернистый, уплотнен в верхней части 0-10 см, обилие корней по всему горизонту диаметром 1-2 мм, переход заметный по изменению окраски, граница перехода ровная.

S1[~], 29-49 см. Увлажнен, неоднородной окраски: на охристо-буром фоне очень темно-серые прожилки и пятна d = 5-7 мм, среднесуглинистый, комковато-зернистый, по всему горизонту ходы дождевых червей и корни растений, переход в следующий горизонт постепенный по изменению окраски.

S2[~], 49-75 см. Увлажнен, буровато-серый с серовато-сизыми прожилками и пятнами, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый, по всему горизонту ходы дождевых червей и кор-

ни растений, переход в следующий горизонт постепенный по изменению окраски.

C3[~], 75-107 см. Влажный, буровато-серый, легкосуглинистый, комковато-ореховатый, уплотнен, тонкопористый, единично встречаются корни травянистых растений, переход заметный по изменению структуры и плотности.

C4g[~], 107-137 см. Влажный, темно-охристо-бурый с ярко-охристо-бурым и серовато-сизым оттенком за счет кутан на поверхности агрегатов, внутри агрегаты бурые, легкоглинистый, крупно-призматический, размер отдельных агрегатов по высоте до 15 см, плотный, тонкопористый, ходы червей, единичные корни травянистых растений, переход заметный по изменению структуры и гранулометрическому составу.

C5g[~], 137 см и >. Влажный, на темно-охристо-буром фоне хорошо заметны ярко-охристо-бурые и серовато-сизые пятна, среднесуглинистый, глыбистый, плотный, тонкопористый, с глубины 140 см сочится вода.

Разрез 34. Аллювиальная слоистая типичная легкосуглинистая на слоистом песчаном, легкосуглинистом и супесчаном аллювии. Место закладки разреза – 10 м от русла реки, прирусловая часть поймы. Растительность – разнотравно-злаковая: крапива двудомная, борщевик обыкновенный, сныть обыкновенная, бедренец-камнеломка, чертополох курчавый, пижма обыкновенная, чистотел большой, вейник наземный, ситник болотный, ежа сборная, пырей ползучий. Глубина разреза – 150 см.

W(AУ), 0-30 см. Увлажнен, буровато-серый, легкосуглинистый, комковато-зернистый, плотный, по всему горизонту обильно корни растений $d = 1-3$ мм, ходы червей, слабо вскипает от 10% HCl, переход в следующий горизонт хорошо заметный по гранулометрическому составу, граница перехода ровная.

C1[~], 30-41 см. Увлажнен, бурый, при высыхании очень светло-бурый, супесчаный, непрочен комковатый, хорошо за-

метны крупные зерна песка, корни растений $d = 1$ мм по всему горизонту, ходы червей, слабо вскипает от 10% HCl, переход заметный по изменению окраски и гранулометрическому составу, граница перехода ровная.

C2[~], 41-48 см. Увлажнен, темно-бурый, темнее, чем C1[~] и C3[~], легкосуглинистый, комковато-зернистый, по всему горизонту корни травянистых растений, слабо вскипает от 10% HCl, переход в следующий горизонт заметный по изменению окраски.

C3[~], 48-76 см. Увлажнен, бурый, при высыхании – очень светло-бурый, окраска неоднородная, встречаются пятна более темной окраски по ходам червей, супесчаный, комковатый, уплотнен, слабо вскипает от 10% HCl, по всему горизонту корни растений и ходы червей, переход в следующий горизонт постепенный по структуре.

C4[~], 76-100 см. Увлажнен, бурый, окраска неоднородная, супесчаный, непрочно комковатый, уплотнен, слабо вскипает от 10% HCl, по всему горизонту корни растений и ходы червей, переход в следующий горизонт постепенный по структуре.

C5[~], 100-108 см. Увлажнен, неоднородной окраски за счет разной окраски гальки, песка и обломков ракушек перловицы обыкновенной (серая, белая, темно-охристо-бурая), супесчаный, рассыпчатый, равномерно по всему горизонту обломки верхнепермских аргиллитов размером до 2 см, вскипающие от HCl, переход хорошо заметный по изменению гранулометрического состава.

C6[~], 108-130 см. Увлажнен, серый со слегка серовато-зеленым оттенком, песчаный, рассыпчатый, вскипает от 10% HCl, содержит большое количество обломков речных ракушек перловицы обыкновенной диаметром 0,5-1 см, переход заметный по утяжелению гранулометрического состава и изменению окраски.

C7[~], 130-150 см. Увлажнен, неоднородный по окраске, на буром фоне охристо-бурые пятна и потеки по почвенным по-

рам, легкосуглинистый, глыбистый, единично тонкие корни травянистых растений, вскипает от 10% HCl.

Изучение аллювиальных почв в трансектах показало, что наиболее сильно на морфологическом уровне гидроморфизм проявляется в профиле почв притеррасной поймы. Здесь формируются торфяные (Т) (разр. 41, 32), перегнойные (Hmr, H) (разр. 32, 41), глеевые горизонты G (разр. 32, 41, 51), а также и оруденелый глееватый горизонт Cg,fn[~] (разр. 51). В центральной пойме образовались почвы с хорошо развитым гумусовым горизонтом мощностью до 30 см темно-серой окраски, зернисто-комковатой структуры, в нижней части профиля горизонты (разр. 33, 42, 52) оглеены. Это характеризует неоднородность окислительно-восстановительных условий почвообразования в профиле аллювиальных почв. Строение профиля почв прирусловой поймы (разр. 34, 43, 53) отражает цикличность отложения аллювия в поймах рек в виде чередования слоев C[~] разной мощности, отличающихся по окраске и гранулометрическому составу. Признаки оглеения в профиле не выражены. В почвах Среднего Предуралья морфологические признаки оглеения часто маскируются повышенным содержанием литогенного гематита [33]. Преобладание в окраске почвенных горизонтов аллювиальных почв хорошо заметных буроватых тонов неоглеенных горизонтов свидетельствует о высоком содержании в них литогенного гематита.

Морфологическая характеристика конкреций. Конкреции почв являются индикаторами почвенно-экологической обстановки [145] и центром интенсивного оксидогенеза железа и марганца [40]. Морфологию марганцево-железистых новообразований аллювиальных почв в поймах рек разных почвенно-климатических зон изучали Г.В. Добровольский [85, 86], С.А. Шоба [260], Ф.Р. Зайдельман [101, 102], Т.И. Ульяночкина [237], П.Н. Балабко [18], В.В. Морозов [153]. Их исследованиями установлено, что центрами конкрециеобразования в почвах служат растительные и животные остатки, склероции гри-

бов, скелеты диатомовых водорослей, обломки горных пород и крупные зерна первичных минералов. Каждому типу и подтипу почв пойм соответствует определенный набор микроформ Mn-Fe-новообразований. С усилением степени гидроморфизма, от серогумусовых глееватых к гумусово-глеевым уменьшается количество конкреционных форм и увеличивается содержание новообразований с диффузными расплывчатыми краями. По мнению Ф.Р. Зайделя [99, 102], новообразования в почвах пойм формируются в зоне внутрипочвенного испарения. Им также отмечено многообразие форм марганцево-железистых новообразований в аллювиальных почвах. В почвах пойм центральных районов Русской равнины встречаются ортштейны и роренштейны. Основная масса железистых конкреций приурочена к типам почв с переменным окислительно-восстановительным режимом.

Конкреции были выделены методом отмывки. Для этого образец воздушно-сухой почвы массой 1 кг размачивали в течение суток в воде, а затем суспензию пропускали через сито ($d = 0,5$ мм). Микронзондовая диагностика выполнена с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan MV-2300 с приставкой для энергетического дисперсионного рентгеновского микроанализа INCA 200 (аналитик А.Т. Савичев).

В глеевом горизонте Gfn[~] серогумусовой глеевой оруденелой почвы (разр. 42) *поймы р. Камы* образовались ортштейны диаметром до 7 мм, темно-бурого цвета с обилием желто-охристых пятен на поверхности (рис. 3). Образование Fe-Mn-ортштейнов, по Ф.Р. Зайделю [102], происходит при наличии в почве подвижных форм Fe и Mn и центров конкрециеобразования (минеральных зерен, биолитов), чередовании периодов иссушения и переувлажнения, окисления и восстановления и непосредственном участии гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов. В погребенном гумусовом горизонте серогумусовой типичной почвы (разр. 43) сформировались мелкие

бурые роренштейны диаметром 2-3 мм, длиной до 5 мм. Мас-
совая доля конкреций с диаметром более 0,5 мм во вмещаю-
щей почве высокая и составляет 5-7% (таблица 1).

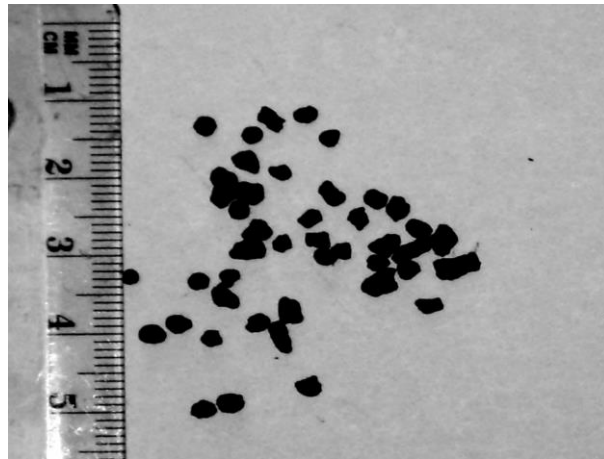
Таблица 1

Содержание и размер конкреций
в аллювиальных почвах Среднего Предуралья

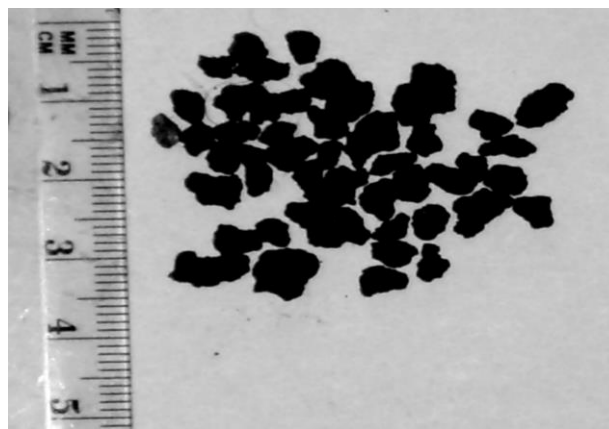
Горизонт, глубина, см	Тип конкреций	Все фрак- ции, % от массы почвы	Содержание фракций конкре- ций (мм), % от общей массы						
			>10	10-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама									
Gfn [~]	31-55	О	5,8	-	21	8	17	44	10
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама									
C2[hh] [~]	30-53	Р	5,3	-	-	24	16	23	37
C3 [~]	53-75	Р	6,6	-	-	32	28	39	1
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, Обва									
C2g,fn [~]	37-75	Р	9,7	21	44	11	9	12	3
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, В. Мулянка									
C2 [~]	49-75	О	0,5	-	-	-	-	30	70
C3 [~]	75-107	О	0,6	-	-	2	1	54	43
C4g [~]	107- 137	О	0,5	-	-	12	12	59	17
C5g [~]	137 и >	О, Р	0,9	-	-	44	18	32	6

Примечание: «-» – конкреции данной фракции отсутствуют, О – орштейны, Р – роренштейны.

В профиле серогумусовой глеевой оруденелой почвы (разр. 51, гор. C2g,fn) *поймы р. Обвы* формируются роренштейны различного размера. Они представляют собой буровато-охристые трубчатые образования сложной формы, с центральным каналом диаметром 2-3 мм, длина их достигает 50 мм, диаметр 12 мм (рисунок 3). Преобладают роренштейны длиной 5-10 мм и диаметром 3-5 мм, эта фракция составляет 44% от массы всех конкреций крупнее 0,5 мм.



А



В



С

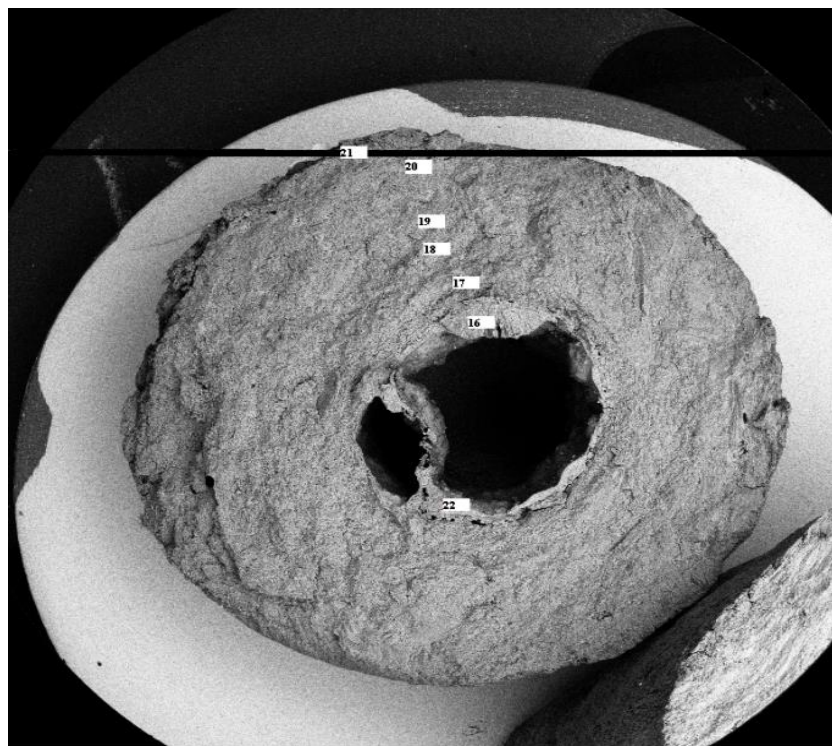
Рисунок 3. Конкреции аллювиальных почв Среднего Предуралья

А – гор. С4g[~], 107-137 см, постагрогумусовая аллювиальная глееватая почва (разр. 33), пойма р. В. Мулянки;

В – гор. С5g[~], 137-150 см, постагрогумусовая аллювиальная глееватая почва (разр. 33), пойма р. В. Мулянки;

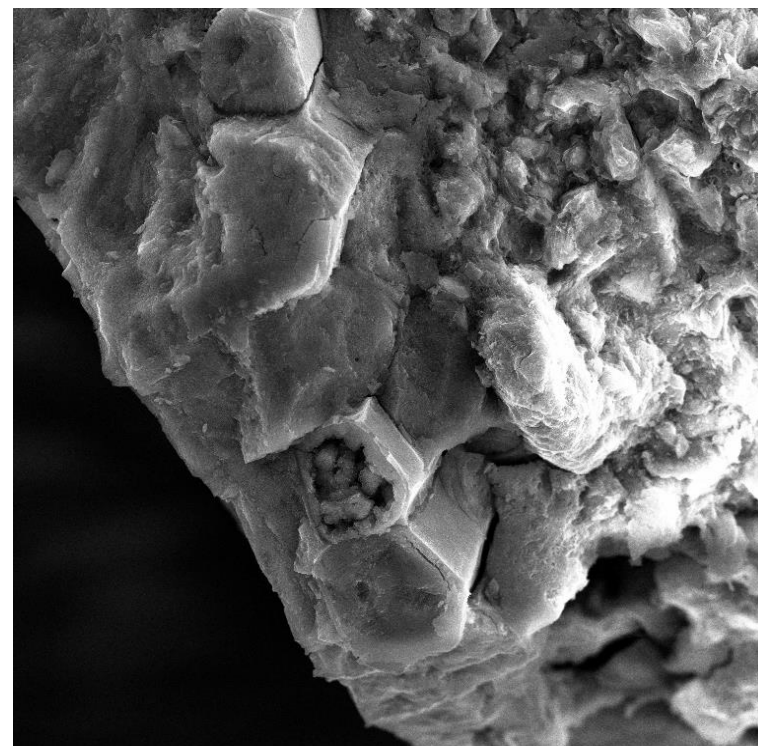
С – гор. С2g,fn[~], 37-75 см, аллювиальная серогумусовая глееватая (разр. 51), пойма р. Обы

В профиле постагрогумусовой глееватой почвы *поймы р. В. Мулянки* формируются преимущественно конкреции округлой формы. В горизонтах C2[~] и C3[~] образуются плотные темно-бурые ортштейны. Они имеют шероховатую поверхность, кристаллическое строение и повышенную твердость в сравнении с почвенными агрегатами. Диаметр этих новообразований в основном 1-2 мм и только у 3% ортштейнов диаметр достигает 2-5 мм. Доля ортштейнов составляет 0,5-0,6% от массы почвы. В горизонте C4g[~] ортштейны бурые, более рыхлые и неровные, массовая доля их 0,5%. Также наблюдается увеличение общего содержания конкреций в горизонте C5g[~]. В нижних горизонтах профиля увеличивается содержание крупных фракций 2-3 и 3-5 мм и уменьшается содержание мелких конкреций 1-0,5 мм. В гор. C5g[~] происходит образование одновременно как ортштейнов, так и роренштейнов (рисунки 3,4). Последние более рыхлые и имеют отчетливую бурюю окраску, в изломе ржаво-охристую (рисунок 3). На поперечном изломе конкреций хорошо выражены концентрические кольца разной окраски – от темно-бурой в центре до светло-палевой на периферии. Роренштейны состоят из суглинистого материала, дисперсные частицы которого покрыты пленками гидроксидов железа. В элементном составе роренштейнов преобладают железо, кислород, кремний и углерод (рисунок 5, таблица 2). Содержание железа выше в точках, расположенных ближе к осевому каналу роренштейна, что связано с прохождением по нему почвенного раствора, насыщенного ионами восстановленного железа и кислородом. Образование в почвах трубчатых железистых стяжений В.В. Добровольский [82] связывает с проникновением воздуха в отмершую паренхиму растительности, диффундированием кислорода в насыщенную водой почву, окислением и закреплением растворимых соединений двухвалентного железа и других элементов при участии оксалатов, цитратов и других органических лигандов. В результате образуются глинисто-железистые чехлы вокруг отмерших корней и стеблей растений с хорошо развитой проводящей системой (рисунок 4).



SEM MAG: --- DET: BSE Detector
 HV: 30.0 kV DATE: 01/16/07
 VAC: HiVac Device: MV2300 Vega ©Tescan
 Digital Microscopy Imaging

поперечный срез роренштейна (×15)



SEM MAG: 1.50 kx DET: SE Detector
 HV: 30.0 kV DATE: 01/15/07
 VAC: HiVac Device: MV2300 Vega ©Tescan
 Digital Microscopy Imaging

фрагмент проводящей ткани корня (ксилемы и флоэмы)
 вдоль осевого канала роренштейна (×1 500)

Рисунок 4. Электронно-микроскопические изображения роренштейна постагрогумусовой аллювиальной глееватой почвы поймы р. В. Мулянки (разр. 33, гор. С5g[~], 137-15 см)

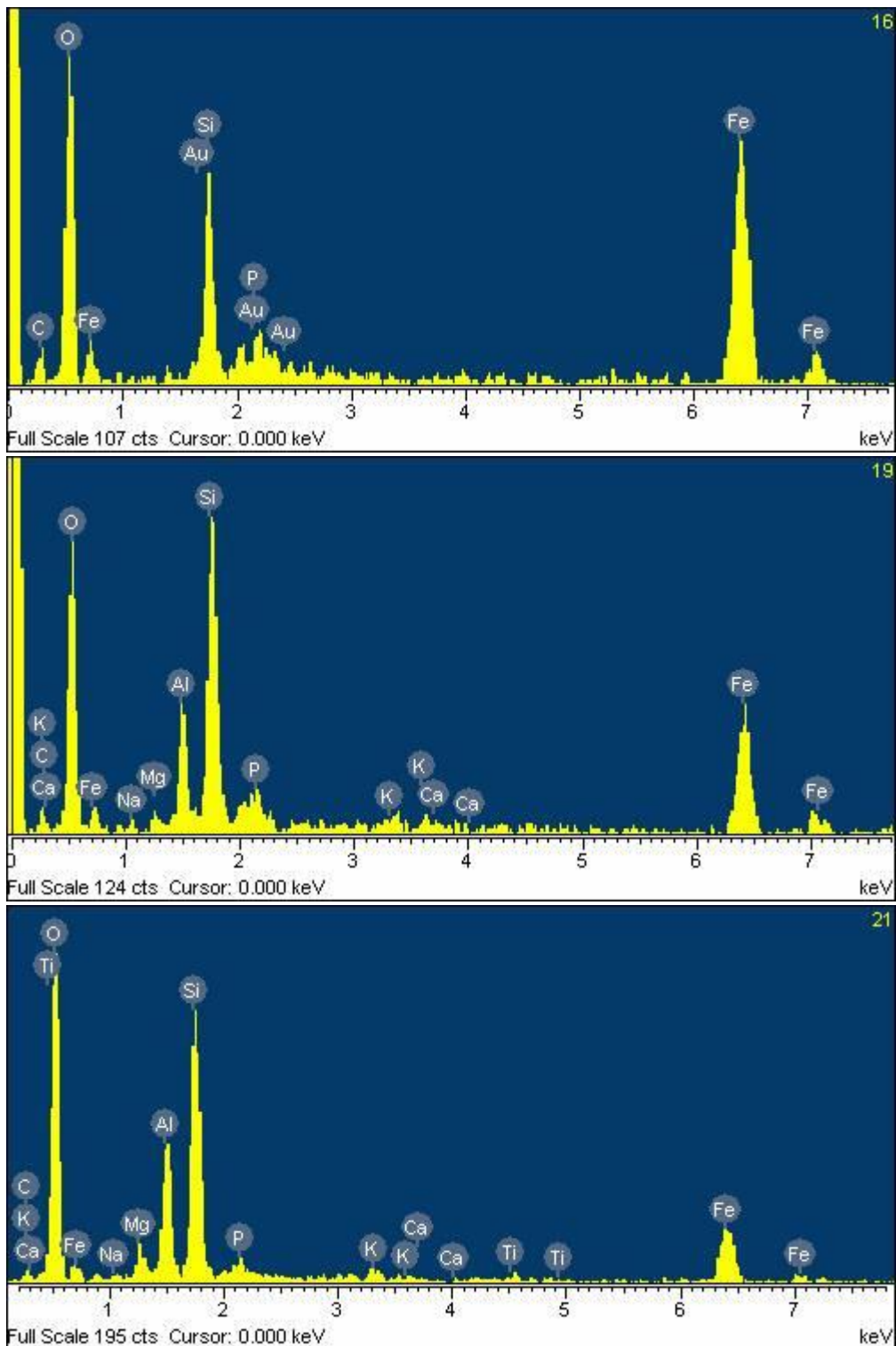


Рисунок 5. Энергодисперсионные спектры точек микрозондового анализа на поперечном срезе роренштейна постагрогумусовой аллювиальной глееватой почвы (разр. 33, гор. C5g[~], 137-15 см) поймы р. В. Мулянки

Таблица 2

Химический состав отдельных точек микрозондового анализа
на поперечном срезе роренштейна
постагрогумусовой аллювиальной глееватой почвы (разр. 33,
гор. С5g[~], 137-15 см) поймы р. В. Мулянки (%)

Точка анализа	С	О	Na	Mg	Al	Si	P	Ti	Fe	K	Ca
22	8,2	26,2	-	-	-	4,6	3,0	-	58,0	-	-
16	12,1	38,9	-	-	-	8,0	2,1	-	39,9	-	-
17	8,7	46,5	-	1,1	2,5	10,0	0,1	-	31,2	-	-
18	7,4	47,4	-		8,6	16,0	0,7	-	9,5	-	10,4
19	7,3	42,4	-	1,1	5,6	16,4	1,4	-	24,1	0,6	0,1
20	14,5	37,3	-	1,0	3,8	15,7	-	-	25,9	1,1	0,3
21	8,5	53,0	0,6	2,0	7,2	14,9	0,2	0,5	12,9	1,0	0,1

"-"ниже предела обнаружения, точки анализа показаны на рисунке 4

Таким образом, наибольшее количество конкреций формируется в глеевых и глееватых горизонтах аллювиальных почв с кислой реакцией среды и длительной фазой редукции железа, где доля новообразований достигает 10% от массы почвы. В условиях нейтральной реакции среды, с кратковременной фазой редукции железа и марганца происходит образование мелких ортштейнов диаметром до 5 мм, массой всего до 1%.

Различия в *гранулометрическом составе* аллювиальных почв можно объяснить закономерностями осадконакопления по сегментам поймы и слоистостью аллювия (таблица 3).

Пойма р. Камы. Гранулометрический состав минеральных горизонтов перегнойно-глеевой почвы (разр. 41) средне-суглинистый песчано-крупнопылеватый. Серогумусовая глеевая почва (разр. 42) по гранулометрическому составу легкоглинистая крупнопылевато-иловатая. В профиле серогумусовой глееватой почвы чередуются слои различного гранулометрического состава – от легкосуглинистых до среднесуглинистых, содержание физической глины в горизонте С1[hh][~] достигает 70%.

Таблица 3

Гранулометрический состав аллювиальных почв
Среднего Предуралья

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	
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, разр.41, Кама								
Н	0-23	-	-	-	-	-	-	-
[Т]	23-89	-	-	-	-	-	-	-
G [~]	89-110	0,2	32,4	31,4	4,8	9,5	21,7	36,0
C1g [~]	110 и >	0,1	34,7	32,9	4,0	11,4	16,9	32,3
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая легкоглинистая, разр. 42, Кама								
AУg	0-25	2,7	11,7	26,3	11,7	20,1	27,4	59,2
C1g [~]	25-31	1,3	9,8	29,5	7,4	19,2	32,8	59,4
Gfn [~]	31-55	0,3	9,3	39,5	8,0	9,3	33,6	50,9
C2g [~]	55 и >	0,0	11,0	41,8	6,6	12,7	27,9	47,2
Аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая, разр. 43, Кама								
AУ	0-20	0,4	19,4	27,4	10,3	16,8	25,7	52,8
C1[hh] [~]	20-30	0,3	9,2	20,7	11,3	19,5	39,0	69,8
C2[hh] [~]	30-53	0,4	15,8	20,3	8,3	16,0	39,2	63,5
C3 [~]	53-75	0,1	42,4	26,4	4,6	8,3	18,2	31,1
C4g [~]	75-100	0,2	27,2	30,7	9,4	8,0	24,5	41,9
C5g [~]	100-150	0,0	26,9	35,8	5,3	8,4	23,6	37,3
C6g [~]	150 и >	0,0	45,7	27,0	3,2	6,7	17,4	27,3
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, р. 51, Обва								
AУg	0-22	1,0	27,3	33,5	8,5	11,4	18,3	38,2
C1[hh]g [~]	22-37	0,0	22,3	39,2	6,5	9,7	22,3	38,5
C2g,fn [~]	37-75	0,0	9,5	46,4	7,8	9,8	26,5	44,1
G [~]	75 и >	0,0	14,0	43,4	7,6	9,4	25,6	42,6
Аллювиальная серогумусовая типичная, р. 52, Обва								
AУ	0-24	0,2	13,0	35,0	10,1	15,2	26,5	51,8
C1 [~]	24- 47	0,1	11,2	31,4	11,5	11,8	34,0	57,3
C2 [~]	47-70	0,1	9,7	45,3	9,4	11,0	24,5	44,9
C3 [~]	70-101	0,1	4,3	28,8	13,0	17,7	35,9	66,6
C4 [~]	101 и >	0,2	3,9	28,1	13,7	18,2	35,6	67,5

Продолжение таблицы 3

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	
Аллювиальная серогумусовая типичная, р. 53, Обва								
Наилок		2,3	15,8	36,5	9,0	15,8	20,6	45,4
W(AУ)	0-20	26,9	51,3	9,8	2,2	2,3	7,5	12,0
C2 [~]	27-36	21,3	40,6	19,4	4,7	5,4	8,6	18,7
C3 [~]	36-52	59,6	27,6	5,5	1,3	2,0	4,0	7,3
C4 [~]	52-71	8,5	36,7	30,2	4,8	7,2	12,6	24,6
C6 [~]	78-90	5,8	43,0	25,1	9,3	4,0	12,8	26,1
C7 [~]	90 и >	35,1	50,2	5,8	1,8	1,0	6,1	8,9
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, р. 32, В. Мулянка								
H _{mr}	0-15	-	-	-	-	-	-	-
H	15-32	-	-	-	-	-	-	-
C1g [~]	32-49	2,8	21,6	29,0	11,2	17,2	18,2	46,6
C2g [~]	49-78	5,9	28,7	23,8	8,8	14,4	18,4	41,6
G [~]	78-92	2,3	25,6	26,7	7,9	13,4	24,1	45,4
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, р. 33, В. Мулянка								
AУpa	0-29	0,2	22,0	37,8	8,5	13,1	18,4	40,0
C1 [~]	29-49	0,0	22,7	38,1	6,5	11,4	21,3	39,2
C2 [~]	49-75	0,0	19,0	39,3	7,2	12,5	22,0	41,7
C3 [~]	75-107	0,2	39,2	31,0	4,5	7,8	17,3	29,6
C4g [~]	107-137	0,1	6,5	37,5	11,4	13,4	31,1	55,9
C5g [~]	137 и >	0,0	20,6	42,2	5,9	8,8	22,5	37,2
Аллювиальная серогумусовая типичная, р. 34, В. Мулянка								
W(AУ)	0-30	3,6	51,0	20,8	5,3	7,6	11,7	24,6
C1 [~]	30- 41	33,3	44,5	9,2	2,2	4,5	6,3	13,0
C2 [~]	41- 48	3,3	51,6	20,2	4,9	8,5	11,5	24,9
C3 [~]	48-76	3,0	58,6	18,5	3,1	7,2	9,6	19,9
C4 [~]	76-100	6,8	60,0	14,5	4,1	5,8	8,8	18,7
C5 [~]	100-108	56,1	21,1	8,6	3,5	5,2	5,5	14,2
C6 [~]	108-130	40,3	45,1	4,9	1,6	4,0	4,1	9,7
C7 [~]	130 и >	1,2	56,9	20,6	3,3	4,3	13,7	21,3

Примечание: «-» – не определяли.

Пойма р. Обвы. Гранулометрический состав горизонтов AУg и C1[~] серогумусовой глеевой почвы (разр. 51) средне-суглинистый песчано-крупнопылеватый. Верхние горизонты

подстилаются тяжелосуглинистыми слоями аллювия. Преобладающей фракцией является крупная пыль. Наибольшее количество частиц крупной пыли (46%) содержится в горизонте C2g,fn[~]. Содержание ила также высокое: в гумусовом горизонте 18%, в горизонте C2g,fn[~] – более 26,5%. Верхний горизонт серогумусовой типичной почвы (разр. 52) легкоглинистый иловато-крупнопылеватый, подстиляется тяжелосуглинистыми и среднесуглинистыми аллювиальными отложениями. Более высокое содержание ила наблюдается в нижних горизонтах, где на его долю приходится 18-27% от массы почвы. Содержание крупной пыли колеблется от 34 до 46%. Почва прирусловой поймы (разр. 53) имеет супесчаный крупнопылевато-песчаный гранулометрический состав. Слоистость профиля четко выражена. В слабогумусированном горизонте АУ(W) и по всему профилю чередуются песчаные, супесчаные и легкосуглинистые прослойки аллювия мощностью от 1 до 10 см. Преобладающими являются фракции мелкого и среднего песка. Содержание илистой фракции в этой почве колеблется от 4,0 до 13,0%.

Наилок, отложенный в 2003 г. в прирусловой части поймы р. Обвы, имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав. В составе фракций преобладают ил (21%) и крупная пыль (16%).

Пойма р. В. Мулянки. Гранулометрический состав иловато-перегнойно-глеевой почвы (разр. 32) характеризуется высоким содержанием фракции крупной пыли, на долю которой, в горизонтах C1g, G приходится от 24 до 29%. Постагрогумусовая глееватая почва (разр. 33) в горизонте АУра среднесуглинистая песчано-крупнопылеватая. В нижележащих слоях почвенного профиля содержание физической глины колеблется в пределах от 37 до 56%. В горизонте C4g[~] содержание ила достигает 31%. Неоднородность гранулометрического состава слоистой почвы (разр. 34) проявляется в большей степени, чем в почвах других сегментов поймы. Вариация содержания физической глины составляет 30%. В горизонте W(AУ) почва имеет легкосуглинистый крупнопыле-

вато-песчаный состав. Гранулометрический состав по профилю изменяется в широком интервале – от песков до легких и средних суглинков.

Более тяжелые по гранулометрическому составу почвы сформировались в пойме р. Кама. В пределах пойм наиболее высокое содержание физической глины в почвах центральной и притеррасной части пойм. Аллювиальные отложения наследуют основные черты гранулометрического состава пород и почв территории бассейнов рек, и по этой причине в почвах центральной и притеррасной пойм отмечается повышенное содержание ила. Значительная вариабельность гранулометрического состава аллювиальных почв Среднего Предуралья, высокое содержание ила и крупной пыли в почвах и аллювии выявлены ранее исследованиями Ю.К. Попова [196], А.И. Паутова [183] и др. Гранулометрический состав почв пойм, во многом, определяет особенности химического состава и поглотительную способность, в том числе по отношению к катионам тяжелых металлов. Корреляционный анализ взаимосвязи содержания железа и тяжелых металлов с гранулометрическим составом изученных аллювиальных почв показал наличие положительной достоверной связи: Fe ($r = 0,53-0,73$), Zn ($r = 0,47-0,85$), Ni ($r = 0,45-0,77$), Cu ($r = 0,43-0,70$), Rb ($r = 0,57-0,70$), Y ($r = 0,38-0,71$) с содержанием физической глины (таблица 4). Следовательно, эти элементы концентрируются, в основном, в тонких фракциях почв, где сосредоточены глинистые минералы, гумус и (гидр)оксиды железа.

Валовое содержание химических элементов в аллювиальных почвах во многом зависит от минералогического состава почв и пород водосборных территорий и их сортировки в результате переноса и переотложения [22, 186].

Валовой химический состав был определен в лаборатории химии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева на приборе Tefa-6111 – методом количественного спектрального

рентгенфлуоресцентного анализа (аналитик А.Т. Савичев), основным преимуществом которого является определение содержаний макро- и микроэлементов в исследуемых образцах без их разрушения, в отличие от атомно-эмиссионного и ICP MS – методов [215].

Таблица 4

Коэффициенты парной корреляции (r)
по Спирмену между содержанием физической глины
и валовым содержанием тяжелых металлов в аллювиальных
почвах Среднего Предуралья, $n=49$

Трансекта	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga
Ил, %											
К	0,48*	-0,04	-0,04	0,22	0,31	-0,07	0,58*	0,43	0,74*	0,65*	0,11
О	0,63*	0,35	0,06	0,58*	0,63*	0,02	0,59*	0,39	0,77*	0,79*	0,30
М	0,47*	-0,14	-0,20	0,45*	0,41	-0,04	0,81*	0,34	0,64*	0,30	-0,08
Физическая глина, %											
К	0,77*	0,54*	-0,22	0,55*	0,70*	0,40	-0,75	-0,84	0,70*	0,71*	0,84*
О	0,47*	0,26	-0,19	0,45	0,43	-0,05	-0,41	0,18	0,66*	0,69*	0,11
М	0,85*	-0,19	-0,21	0,77*	0,61*	-0,21	-0,87	0,23	0,57*	0,38	0,12

Примечание: * - достоверно при $P=0,95$; К - Кама, О - Обвы, М - В. Мулянка.

Определено содержание Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, P, K, Ti, Mn. Валовое содержание марганца дается в расчете на MnO_2 . Для почв, сформировавшихся на аллювиальных отложениях, данные валового химического анализа не являются основными показателями развития почвообразовательного процесса. Аллювиальные отложения в процессе формирования неоднократно перемываются и переоткладываются, при этом они проходят определенную сортировку и подвергаются различным процессам выветривания до, и после привноса их в пойму. По этой причине нельзя с уверенностью судить об одно-

родности отложения и о степени их выветривания и перераспределения химических элементов в почвенном профиле. В связи с этим, в аллювиальных почвах не представляется возможным провести расчеты по выносу-накоплению отдельных окислов, а целесообразно ограничиться выводами общего значения.

Содержание макроэлементов в изученных аллювиальных почвах, в основном, выше кларка для почв мира (таблица 5).

Концентрация валового кремния в минеральных горизонтах варьирует от 59,3 до 75,6%, что соответствует его содержанию в зональных дерново-подзолистых почвах аналогичного гранулометрического состава [132]. Содержание валового алюминия изменяется от 12,0 до 18,1% и значительно выше, чем в аллювиальных почвах центра Русской равнины [257]. Концентрация TiO_2 в почвах пойм колеблется от 0,54 до 1,13, превышая кларк в 1,4 раза.

Средневзвешенное по профилю содержание магния в почвах выше кларка в 2,3-4,2 раза. В изученных почвах наблюдается преобладание MgO над CaO , что является литогенной особенностью для почв Среднего Предуралья [132]. В слоистой почве (разр. 34) поймы р. В. Мулянки высокая концентрация CaO (до 18%) объясняется включением твердых невыветрившихся обломков карбонатных пород верхнепермских отложений в состав аллювия и, в значительной мере, одновременным биогенным накоплением кальция в виде включений обломков раковин перловицы обыкновенной, хорошо заметных визуально при описании разреза в полевых условиях.

Концентрация валового железа в минеральных горизонтах аллювиальных почв пойм южной тайги Среднего Предуралья составляет, в основном, 5,5-7,0%, при lim 3,8-11,0%, что выше, чем в аллювиальных почвах центра Русской равнины [88, 257] и кларка до 1,6 раза.

Таблица 5

Валовой химический состав (% к массе)
аллювиальных почв Среднего Предуралья

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, разр. 41, Кама											
Н 0-23	65,1	19,0	5,83	1,03	0,18	2,01	2,88	1,17	0,30	2,05	
[Т] 23-89	63,8	21,1	5,74	0,95	0,17	3,00	2,34	0,17	0,40	1,93	
G [~] 89-110	73,1	15,3	3,84	0,91	0,08	1,15	2,24	0,79	0,11	2,16	
C1g [~] 110 и >	73,3	15,3	3,99	0,91	0,09	1,11	2,22	0,35	0,12	2,12	
М	67,8	18,4	5,02	0,95	0,14	2,09	2,38	0,46	0,27	2,03	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая легкоглинистая, разр. 42, Кама											
AYg 0-25	64,9	15,8	11,0	1,11	0,58	1,41	2,41	0,34	0,28	1,99	
C1g [~] 25-31	64,7	16,0	10,2	1,13	1,28	1,35	2,42	0,65	0,15	1,93	
Gfn [~] 31-55	68,7	15,2	7,48	1,05	0,25	1,23	2,33	0,85	0,13	2,25	
C2g [~] 55 и >	68,3	15,4	7,43	1,02	0,37	1,35	2,42	0,73	0,14	2,17	
М	67,0	15,5	8,86	1,07	0,47	1,33	2,39	0,63	0,18	2,12	
Аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая, разр. 43, Кама											
AY 0-20	68,5	16,6	6,43	0,94	0,20	1,46	2,59	0,59	0,35	1,81	
C1[hh] [~] 20-30	65,9	18,1	8,01	0,11	0,19	1,53	2,37	0,82	0,37	1,97	
C2[hh] [~] 30-53	67,4	17,5	7,11	1,05	0,14	1,26	2,35	0,42	0,22	1,95	
C3 [~] 53-75	72,3	13,5	6,03	0,92	0,16	1,09	2,32	0,68	0,37	1,99	
C4g [~] 75-100	69,5	14,2	6,87	0,96	0,19	1,18	2,68	1,50	0,22	2,20	
C5g [~] 100-150	67,6	15,3	7,62	1,07	0,39	1,21	2,69	1,34	0,20	2,15	
C6g [~] 150 и >	73,5	13,9	3,84	0,81	0,09	1,02	2,46	1,28	0,12	2,20	
М	69,2	15,4	6,67	0,93	0,23	1,22	2,54	1,03	0,25	2,06	

Продолжение таблицы 5

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая среднесуглинистая, разр. 51, Обва										
AYg 0-22	70,9	13,1	6,32	0,96	0,20	1,40	3,05	1,58	0,18	1,75
C1[hh]g [~] 22-37	70,7	12,9	6,19	0,98	0,14	1,39	3,13	2,04	0,23	1,82
C2g,fn [~] 37-75	71,8	12,4	6,00	1,02	0,07	0,97	3,23	1,84	0,17	1,95
G [~] 75 и >	70,2	13,6	6,64	0,99	0,08	1,04	3,50	1,26	0,20	1,98
M	71,1	12,9	6,22	0,99	0,12	1,16	3,21	1,71	0,19	1,88
Аллювиальная серогумусовая типичная легкоглинистая, разр. 52, Обва										
AY 0-24	69,8	12,3	5,53	0,90	0,13	1,33	3,03	3,04	0,20	1,62
C1 [~] 24-47	72,5	12,3	5,50	0,85	0,12	1,22	2,87	1,43	0,12	1,74
C2 [~] 47-70	72,0	12,9	5,68	0,89	0,11	1,22	2,75	1,28	0,10	1,78
C3 [~] 70-101	71,2	13,1	5,88	0,91	0,13	1,21	2,91	0,73	0,16	1,78
C4 [~] 101 и >	71,7	13,2	5,88	0,87	0,19	1,15	2,85	1,28	0,17	1,76
M	71,4	12,8	5,69	0,89	0,13	1,23	2,89	1,53	0,15	1,75
Аллювиальная слоистая типичная супесчаная, разр. 53, Обва										
наилок	70,1	12,5	6,08	0,83	0,30	3,81	3,03	0,96	0,20	1,72
W(AY) 0-20	72,1	12,7	4,77	0,73	0,14	2,16	3,13	1,82	0,21	1,71
C3 [~] 36-52	75,4	11,9	4,04	0,55	0,13	1,94	2,71	1,18	0,17	1,47
C4 [~] 52-71	72,4	12,6	5,04	0,75	0,15	2,39	2,96	1,45	0,14	1,68
C6 [~] 78-90	71,3	13,9	5,22	0,77	0,14	2,95	1,79	-	0,11	1,98
C7 [~] 90 и >	75,5	12,4	3,80	0,54	0,10	1,67	2,36	1,70	0,13	1,27
M	73,2	12,8	4,62	0,67	0,13	2,26	2,50	1,42	0,14	1,64
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, разр. 32, В. Мулянка										
Hmr 0-15	66,6	13,4	6,88	0,81	0,22	4,36	4,19	1,33	0,39	1,40
H 15-32	67,3	14,6	6,68	0,87	0,11	3,38	3,77	1,24	0,19	1,36
C1g [~] 32-49	67,2	14,1	6,71	0,88	0,09	1,81	4,89	2,26	0,11	1,40

Продолжение таблицы 5

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
C2g [~] 49-78	67,5	14,5	6,60	0,86	0,08	1,74	4,95	1,77	0,07	1,40
G [~] 78-92	68,9	13,5	5,66	0,89	0,07	1,65	4,70	2,45	0,08	1,52
[T1] 92-110	53,5	12,1	3,10	1,04	0,07	24,0	2,92	0,57	0,57	1,06
[T2] 110 и >	19,9	5,9	2,31	0,60	0,04	65,3	3,53	0,19	0,19	0,34
M	67,5	14,1	6,54	0,86	0,11	2,47	4,56	1,79	0,15	1,41
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая среднесуглинистая, разр. 33, В. Мулянка										
AУра 0-29	67,9	14,6	6,96	0,95	0,21	2,02	3,45	1,22	0,27	1,78
C1 [~] 29-49	67,0	15,7	7,20	0,93	0,19	1,80	3,59	1,05	0,15	1,90
C2 [~] 49-75	67,0	15,5	7,41	0,92	0,21	1,70	3,52	1,25	0,14	1,98
C3 [~] 75-107	66,7	16,0	7,23	0,91	0,23	1,80	3,59	1,10	0,16	1,90
C4g [~] 107-137	66,6	16,3	7,32	0,91	0,19	1,68	3,41	1,03	0,19	1,93
C5g [~] 137 и >	67,7	15,1	7,23	0,92	0,11	1,80	3,49	1,17	0,20	1,95
M	67,1	15,6	7,22	0,92	0,19	1,80	3,51	1,14	0,19	1,90
Аллювиальная слоистая типичная легкосуглинистая, разр. 34, В. Мулянка										
W(AУ) 0-30	65,0	14,7	6,50	0,95	0,20	6,00	3,31	0,85	0,26	2,00
C1 [~] 30-41	67,7	12,3	5,78	0,64	0,16	7,00	2,99	1,12	0,18	1,70
C2 [~] 41-48	65,4	14,6	6,54	0,82	0,16	5,60	3,29	1,16	0,17	1,80
C3 [~] 48-76	64,5	14,4	6,65	0,79	0,16	6,80	3,46	1,04	0,17	1,62
C4 [~] 76-100	65,2	14,5	6,41	0,75	0,15	6,90	3,20	0,82	0,12	1,56
C5 [~] 100-108	59,3	10,6	6,23	0,61	0,22	18,0	2,76	0,48	0,14	1,13
C6 [~] 108-130	67,3	12,0	6,07	0,69	0,14	8,15	2,79	1,20	0,09	1,31
C7 [~] 130 и >	65,2	14,3	6,63	0,79	0,13	6,68	3,20	1,01	0,16	1,59
M	65,2	13,8	6,43	0,78	0,16	7,31	3,18	0,97	0,17	1,62
кларк	51,8	13,3	5,43	0,77	0,13	1,92	1,04	1,83	0,18	1,63

Примечание: M – средневзвешенное содержание по профилю

В глеевых горизонтах (разр. 32, В. Мулянка; разр. 41, 42, Кама), в результате редукции Fe(III) и выноса Fe(II), количество валового железа снижается на 15-33%, по сравнению с вышележащими горизонтами (таблица 5). Разрушение минералов железа и вынос его подвижных форм – один из характерных признаков глееобразования [95, 262].

Валовое содержание Mn в минеральных горизонтах, изученных почв, изменяется в очень широких пределах – от 0,07 до 1,28%, то есть, в отдельных горизонтах, превышает кларк на два порядка. В горизонте G серогумусовой глеевой почвы (разр. 51) наблюдается минимум концентрации марганца по сравнению с вышележащими горизонтами. Повышенное, относительно кларка, валовое содержание железа и марганца является одним из факторов развития оксидогенеза этих элементов.

По сравнению с аналогичными по гранулометрическому составу дерново-подзолистыми почвами водораздельных территорий Среднего Предуралья [132], в аллювиальных почвах содержание железа, кальция, магния и фосфора выше, что обеспечивает, в ряде случаев, нейтральную реакцию среды, а также низкую подвижность тяжелых металлов в ионной форме.

В притеррасной пойме неоднородность химического состава иловато-перегнойно-глеевых почв (разр. 32, В. Мулянка, разр. 41, Кама) определяется сложным строением их органо-минерального профиля, сформированного при выраженном переувлажнении гидрокарбонатно-кальциевыми грунтовыми и делювиальными водами. Перегнойные и торфяные горизонты обеднены, по сравнению с минеральными, Si, Al, Mg и Ti; и значительно обогащены P, Ca, Mn. Дифференциация валового химического состава в профиле почв прирусловой части поймы (разр. 34, В. Мулянка; разр. 53, Обва) связана с чередованием слоев разного гранулометрического состава.

Кластерный анализ выявил тесную взаимосвязь калия, алюминия, кремния и титана, характеризующую алюмосиликатную часть почв. Тесно связаны между собой фосфор и натрий. Железо и марганец в аллювиальных почвах имеет высокий уровень сходства, что свидетельствует об их совместном накоплении в аллювиальных наносах и участии в почвообразовательных процессах (рисунок 6).

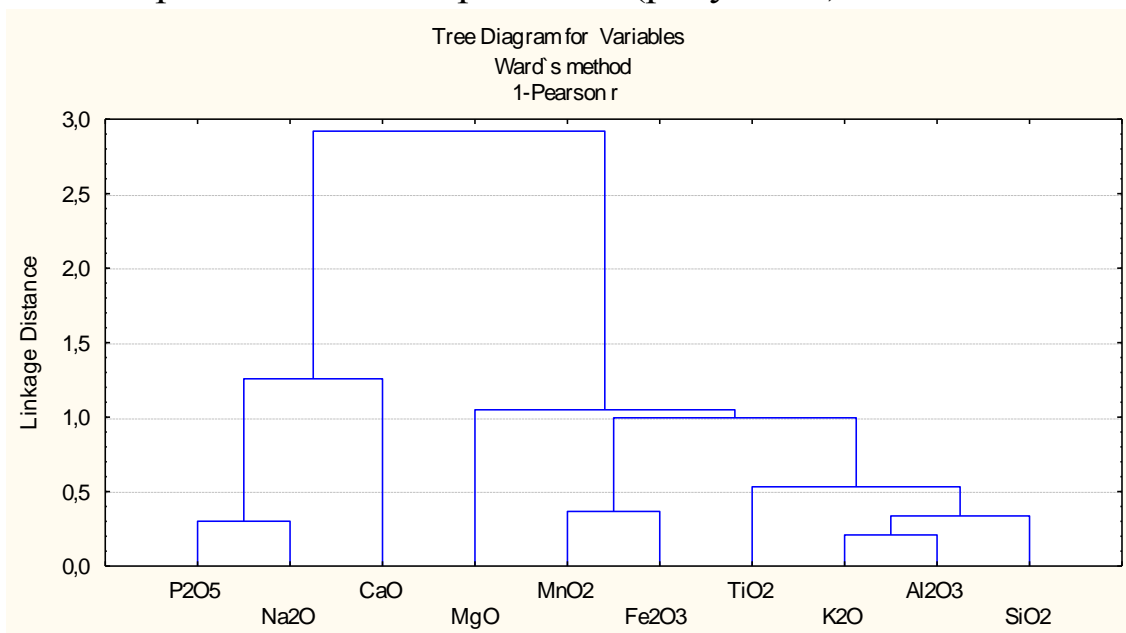


Рисунок 6. Дендрограмма кластер-анализа взаимосвязи основных пороодо- и почвообразующих химических элементов в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, $n = 52$

Общие физические свойства, почвенно-гидрологические константы. Плотность почвы (d_v) определена в полевых условиях буровым методом по Качинскому [70]. В лаборатории кафедры почвоведения Пермской ГСХА определен гранулометрический состав пирофосфатным методом [64], получены величины плотности твердой фазы (d_0) с использованием пикнометров, гигроскопической влажности (ГВ) и максимальной гигроскопичности (МГ) [69] в трехкратной повторности. Полная влагоемкость (ПВ), наименьшая влагоемкость (НВ), влажность разрыва капилляров (ВРК) и влажность завядания (ВЗ) рассчитаны с использованием величин максимальной гигроскопичности и общей пористости [79].

Пойма р. Обвы. Плотность в гумусовых горизонтах аллювиальных почв поймы р. Обвы составляет 1,13–1,32 г/см³, в нижележащих слоях аллювия она несколько возрастает (таблица 6). Максимальная плотность (1,49 г/см³) характерна для глеевого горизонта серогумусовой глеевой почвы (разр. 51). Ухудшение физических свойств в оглеенных горизонтах почв таежно-лесной зоны отмечают Н.А. Крутилина [134] и Ф.Р. Зайдельман [99, 100] и другие.

Плотность твердой фазы в почвах поймы р. Обвы варьирует от 2,44 до 2,64 г/см³. Пористость в глеевых и глееватых почвах постепенно снижается с глубиной, а в слоистых почвах прирусловой поймы заметно варьирует по профилю. В разных слоях аллювия общая пористость может как уменьшаться до 48%, так и увеличиваться до 58% от объема почвы.

В гумусовых горизонтах максимальная гигроскопичность (МГ) составляет 3-9% от массы почвы, в глеевом горизонте (разр. 51) возрастает до 11%.

Высокая МГ серогумусовой глеевой почвы (разр. 51) объясняется значительным содержанием в ней ила и органического вещества. Повышенная гигроскопичность почв южной тайги Среднего Предуралья, по сравнению с почвами центральной части Русской равнины, объясняется, по результатам исследований В.В. Карпушенкова [115], В.П. Чернова [246], преобладанием монтмориллонита в породах и почвах региона.

Величина влажности завядания (ВЗ) в почве притеррасной поймы высокая – 14-17% от массы почвы, в почве центральной поймы – 10-12%. В профиле супесчаной почвы МГ и ВЗ минимальны, что объясняется легким гранулометрическим составом и преобладанием первичных минералов с незначительной гигроскопичностью. Минимальная пористость серогумусовой глеевой почвы обуславливает низкие значения ПВ и НВ, в почвах центральной и прирусловой поймы данные константы выше на 9-10%.

Таблица 6

Общие физические свойства и гидрологические константы
аллювиальных почв Среднего Предуралья

Горизонт, глубина, см	Плотность, г/см ³		Порис- тость общая, %	Категории влаги, % от массы почвы					
	d _v	d ₀		МГ	ВЗ	ВРК	НВ	ПВ	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая среднесуглинистая, р. 51, Обва									
AYg 0-22	1,32	2,52	48	9,1	13,6	18	26	33	
C1[hh]g [~] 22-37	1,35	2,44	45	11,3	17,0	17	24	30	
C2g,fn [~] 37-75	1,28	2,51	49	10,7	16,1	19	27	34	
G [~] 75 и >	1,49	2,57	42	10,7	16,1	16	23	28	
Аллювиальная серогумусовая типичная легкоглинистая, р. 52, Обва									
AY 0-24	1,13	2,52	55	7,4	11,1	25	35	44	
C1 [~] 24-47	1,21	2,58	53	6,4	9,6	22	32	40	
C2 [~] 47-70	1,25	2,61	52	7,5	11,2	21	30	38	
C3 [~] 70-101	1,27	2,57	49	7,7	11,6	20	28	35	
C4 [~] 101 и >	1,32	2,64	50	7,5	11,2	19	27	34	
Аллювиальная слоистая типичная супесчаная, р. 53, Обва									
W(AY) 0-20	1,15	2,54	55	3,0	4,5	25	35	44	
C3 [~] 36-52	1,27	2,64	58	1,9	2,8	24	34	42	
C4 [~] 52-71	1,26	2,61	52	5,6	8,4	21	30	37	
C7 [~] 90 и >	1,35	2,58	48	2,7	4,1	18	26	32	
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, р. 32, В. Мулянка									
Hmr 0-15	0,72	2,44	70	12,8	19,2	50	72	90	
H 15-32	0,84	2,14	61	14,7	22,0	38	54	67	
C1g [~] 32-49	1,18	2,46	52	9,6	14,3	22	32	40	
C2g [~] 49-78	1,35	2,54	47	7,7	11,6	17	25	31	
G [~] 78-92	1,51	2,39	37	8,5	12,8	12	17	21	
[T1] 92-110	0,42	1,69	75	-	-	-	-	-	
[T2] 110 и >	0,53	1,54	66	-	-	-	-	-	
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая среднесуглинистая, р. 33, В. Мулянка									
AYpa 0-29	1,11	2,37	53	11,1	16,6	24	34	43	
C1 [~] 29-49	1,23	2,51	51	9,0	13,5	21	30	37	
C2 [~] 49-75	1,32	2,44	46	8,9	13,3	17	25	31	
C3 [~] 75-107	1,27	2,41	47	8,0	12,0	18	26	33	
C4g [~] 107-137	1,31	2,40	45	11,7	17,5	17	25	31	
C5g [~] 137 и >	1,42	2,49	43	8,9	13,3	15	22	27	

Продолжение таблицы 6

Горизонт, глубина, см	Плотность, г/см ³		Порис- тость общая, %	Категории влаги, % от мас- сы почвы					
	d _v	d ₀		МГ	ВЗ	ВРК	НВ	ПВ	
Аллювиальная слоистая типичная легкосуглинистая, р. 34, В. Мулянка									
W(AУ) 0-30	1,23	2,62	53	6,8	10,3	22	31	39	
C1 [~] 30-41	1,37	2,61	48	4,0	5,9	17	25	31	
C2 [~] 41-48	1,38	2,59	47	6,5	9,7	17	24	30	
C3 [~] 48-76	1,29	2,63	51	4,8	7,1	20	29	36	
C4 [~] 76-100	1,20	2,63	54	5,2	7,8	23	33	41	
C5 [~] 100-108	1,44	2,67	46	3,5	5,2	16	23	29	
C6 [~] 108-130	1,23	2,64	53	2,9	4,3	22	31	39	
C7 [~] 130 и >	1,30	2,64	51	6,3	9,4	20	28	35	

Примечание: «-» – не определяли

Пойма р. В. Мулянки. Общие физические свойства иловато-перегнойно-глеевой почвы (разр. 32) имеют свои особенности за счет высокого содержания органического вещества и тяжелого гранулометрического состава минеральных горизонтов. Перегнойный горизонт *Hmr* рыхлый, его плотность – всего 0,72 г/см³.

Плотность минеральных горизонтов в средней части профиля значительно выше: в глеевом горизонте – 1,51 г/см³. Плотность твердой фазы варьирует по горизонтам почвенного профиля от 2,14 до 2,54 г/см³, минимальные значения приходятся на торфяные горизонты – 1,54-1,69 г/см³. Пористость в верхней части профиля составляет (гор. *Hmr*, Н) 61-70%, в подповерхностных оглеенных минеральных горизонтах величина общей пористости снижается до 37%. Плотность гумусовых горизонтов почв центральной (разр. 33) и прирусловой (разр. 34) пойм изменяется в интервале от 1,11 до 1,23 г/см³, с глубиной возрастает. Плотность твердой фазы в почве прирусловой поймы, в связи с более низким содержанием органического вещества, выше, по сравнению с почвами центральной и притеррасной пойм. Общая пористость с глубиной постепенно снижается.

Для иловато-перегнойно-глеевой почвы (разр. 32) характерны высокие значения МГ и ВЗ, особенно для перегнойных горизонтов *Hmr* и *H*, что обусловлено накоплением в них органического вещества. Варьирование МГ по профилю незначительное, она изменяется от 8 до 11%. ВЗ высокая и достигает 12-22%. В профиле слоистой почвы (разр. 34) МГ и ВЗ наиболее низкие (3-4% и 4-10%, соответственно), что объясняется минимальным содержанием в этих почвах ила. Нарастание степени гидроморфизма в ряду аллювиальных почв от прирусловой к притеррасной части поймы определяет повышение плотности сложения глубинных горизонтов и снижение общей пористости. Это является общей чертой оглеенных почв. Варьирование полной влагоемкости и влажности завядания по профилю аллювиальных почв хорошо согласуется со слоистым строением почвенной толщи, незначительный интервал ВЗ-ППВ определяет неустойчивый режим влажности почв и окислительно-восстановительные условия развития оксидогенеза.

Особенности развития оксидогенеза железа и марганца и аккумуляции ТМ в аллювиальных почвах зависят от их *физико-химических свойств*, которые обеспечивают развитие окислительно-восстановительных процессов.

Количество органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почвах установлено прямым методом с помощью CHN-анализатора 1106 CARLO ERBA [8]. Сумма обменных оснований (*S*) определена методом Каппена-Гильковица [68], гидролитическая кислотность (H_r) – методом Каппена [65]. В карбонатных образцах обменные кальций и магний определены методом Шмука. Емкость катионного обмена и степень насыщенности почв основаниями установлены расчетным методом по *S* и H_r . Обменная (pH_{KCl}) и актуальная ($pH_{\text{H}_2\text{O}}$) кислотность определены потенциометрическим методом на приборе АНИОН-7010 [66, 67].

Пойма р. Камы. В органогенных горизонтах Н и [Т] перегнойно-глеевой почвы (разр. 41) содержание органического вещества ($C_{\text{ОРГ}}$) очень высокое (таблица 7), в горизонте АУg глеевой почвы (разр. 42) – среднее, в гумусовом горизонте глееватой почвы (разр. 43) содержание $C_{\text{ОРГ}}$ выше, чем в центральной пойме. Сумма обменных оснований и ЕКО умеренно высокие, в профиле их величина постепенно снижается с глубиной. Гидролитическая кислотность почв высокая. Реакция среды в органогенных горизонтах перегнойно-глеевой почвы среднекислая, в минеральных горизонтах G и C1g – очень сильнокислая. В гумусовом горизонте серогумусовой глеевой почвы реакция сильнокислая, с глубиной кислотность снижается. В почве прирусловой поймы рН находится в сильнокислом диапазоне по всему профилю.

Пойма р. Обвы. В горизонте АУg глеевой почвы (разр. 51) содержится 2,0% $C_{\text{ОРГ}}$, в подповерхностном горизонте C1[hh]g органического вещества накапливается больше. Сумма обменных оснований и величина гидролитической кислотности здесь высокие. По профилю сумма обменных оснований снижается незначительно, а гидролитическая кислотность возрастает резко. С глубиной возрастает также и обменная кислотность, величина $pH_{\text{КС}}$ изменяется от слабокислой до очень сильнокислой.

Степень насыщенности почв основаниями в гор. АУg высокая, а в гор. C2g,fn средняя. В гумусовом горизонте серогумусовой типичной почвы (разр. 52) содержится 1,8% органического вещества, сумма обменных оснований составляет 26,4 мг-экв, а гидролитическая кислотность – 3,7 мг-экв/100 г почвы. С глубиной их величины снижаются. Степень насыщенности основаниями в профиле почвы центральной поймы высокая.

Таблица 7

Физико-химические свойства аллювиальных почв
Среднего Предуралья

Горизонт, глубина, см	C _{орг} , %	мг-экв на 100 г почвы			V, %	pH _{KCl}
		S	H _г	ЕКО		
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, разр.41, Кама						
Н 0-23	28,1 ^{**}	32,4	11,5	43,9	74	4,6
[Т] 23-89	40,1 ^{**}	37,1	10,4	47,5	78	4,2
G [~] 89-110	1,5	12,7	9,9	22,6	56	3,9
C1g [~] 110 и >	0,5	8,4	8,4	16,8	50	3,7
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама						
AУg 0-25	2,6	26,6	10,2	36,8	72	4,4
C1g [~] 25-31	1,0	28,5	7,7	36,2	79	4,2
G [~] 31-55	0,5	23,4	5,4	28,8	81	4,4
C2g [~] 55 и >	0,5	23,6	3,4	27,0	87	4,6
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама						
AУ 0-20	4,2	26,1	10,4	36,5	71	4,4
C1[hh] [~] 20-30	3,8	28,7	13,1	41,8	69	4,1
C2[hh] [~] 30-53	1,2	20,7	8,8	29,5	70	3,9
C3 [~] 53-75	0,5	12,5	6,3	18,8	67	3,9
C4g [~] 75-100	0,5	14,2	8,4	22,6	63	3,7
C5g [~] 100-150	0,4	13,1	8,1	21,2	62	3,6
C6g [~] 150 и >	0,3	8,8	6,6	15,4	57	3,7
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, р. 51, Обва						
AУg 0-22	2,0	30,0	4,3	34,3	88	5,1
C1[hh]g [~] 22-37	2,8	32,8	6,7	39,5	83	4,7
C2g,fn [~] 37-75	1,8	22,2	15,2	37,4	59	3,5
G [~] 75 и >	0,9	26,2	9,7	35,9	73	3,5
Аллювиальная серогумусовая типичная, р. 52, Обва ^{***}						
AУ 0-24	1,8	26,4	3,7	30,1	88	4,9
C1 [~] 24-47	0,6	23,4	2,8	26,2	89	4,5
C2 [~] 47-70	0,6	25,0	2,8	27,8	90	4,6
C3 [~] 70-101	0,6	25,4	2,8	29,2	87	4,7
C4 [~] 101 и >	0,5	24,4	2,8	27,2	90	4,7
Аллювиальная слоистая типичная, р. 53, Обва						
Наилорк	2,0	-	-	-	-	7,6 [*]
W(AУ) 0-20	0,6	26,2	0,2	26,4	99	8,1 [*]
C3 [~] 36-52	0,2	37,8	0,4	38,2	99	8,1 [*]
C4 [~] 52-71	0,6	46,6	0,5	47,1	99	8,2 [*]
C7 [~] 90 и >	0,2	26,4	0,35	26,8	99	8,1 [*]

Продолжение таблицы 7

Горизонт, глубина, см	C _{ОРГ} , %	мг-экв на 100 г почвы			V, %	pH _{KCl}
		S	H _Г	ЕКО		
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, р. 32, В. Мулянка						
H _{mr} 0-15	25,2 ^{**}	23,2	0,7	23,9	97	6,4
H 15-32	25,2 ^{**}	22,5	2,4	24,9	91	5,8
C1g [~] 32-49	0,9	15,8	0,5	16,3	97	5,9
C2g [~] 49-78	0,5	14,1	0,5	14,6	96	5,9
G [~] 78-92	1,34	14,4	0,8	15,2	95	5,9
[T1] 92-110	62,0 ^{**}	-	-	-	-	6,1
[T2] 110 и >	81,7 ^{**}	-	-	-	-	6,1
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, р. 33, В. Мулянка						
AУpa 0-29	4,0	17,1	3,7	20,7	82	6,0
C1 [~] 29-49	0,6	10,8	1,8	12,5	86	5,8
C2 [~] 49-75	0,8	12,5	0,9	13,3	93	5,3
C3 [~] 75-107	0,5	12,1	1,4	13,5	90	5,9
C4g [~] 107-137	0,8	15,1	1,6	16,7	91	6,0
C5g [~] 137 и >	0,5	11,8	1,2	13,0	91	5,9
Аллювиальная слоистая типичная, р. 34, В. Мулянка ^{***}						
W(AУ) 0-30	1,3	38,8	-	38,8	100	7,7 [*]
C1 [~] 30-41	0,5	25,1	-	25,1	100	7,7 [*]
C2 [~] 41-48	1,0	40,6	-	40,6	100	7,5 [*]
C3 [~] 48-76	0,6	35,4	-	35,4	100	7,7 [*]
C4 [~] 76-100	0,7	31,0	-	31,0	100	7,9 [*]
C5 [~] 100-108	0,4	28,6	-	28,6	100	8,0 [*]
C6 [~] 108-130	0,3	24,0	-	24,0	100	7,9 [*]
C7 [~] 130 и >	0,6	34,4	-	34,4	100	7,9 [*]

Примечание: "-" – не определяли, * – pH_{H2O}, ** – потери при прокаливании, *** – S рассчитана как сумма обменных Са и Mg.

Слоистая почва (разр. 53) характеризуется очень низким содержанием органического вещества и нейтральной реакцией среды. Сумма обменных кальция и магния высокая за счет карбонатности аллювия.

Наилкок в прирусловой пойме р. Обвы содержит 2,0% органического вещества и имеет слабощелочную реакцию среды. А.И. Паутов [179, 182] отмечает, что в наилках рек Пермского края чаще всего содержание C_{ОРГ} низкое – до 2,0%.

Пойма р. В. Мулянки. Иловато-перегнойно-глеевая почва (разр. 32) богата органическим веществом; сумма обменных оснований и степень насыщенности ими почвенного поглощающего комплекса высокие за счет биогенной аккумуляции кальция и магния в почвенном профиле, особенно в поверхностном перегнойном горизонте. Для почвы характерна нейтральная реакция среды, умеренно низкая емкость катионного обмена. Постагрогумусовая глееватая почва (разр. 33) обладает высоким содержанием органического вещества, слабокислой или близкой к нейтральной реакцией среды; повышенной и высокой степенью насыщенности основаниями; средней емкостью катионного обмена. Слоистая почва (разр. 34) характеризуется низким содержанием органического вещества, нейтральной и слабощелочной реакцией среды, высокой степенью насыщенности основаниями. Сумма обменных кальция и магния в легкосуглинистых слоях аллювия умеренно высокая. А.И. Паутов [184] отмечает, что многие аллювиальные почвы южной тайги центра и юга Пермского края обладают щелочной реакцией среды и объясняет данный факт насыщенностью карбонатами коренных пород пермской геологической системы.

Таким образом, почвообразование в поймах рек Камы и Обвы развивается в условиях кислой реакции среды, которая благоприятна для синтеза термодинамически нестабильных гидроксидов железа. В пойме р. В. Мулянки почвы имеют нейтральную и слабощелочную реакцию среды, что способствует синтезу в большей степени оксидов железа [293].

Высокая поглотительная способность органической и минеральной части аллювиальных почв определяют повышенную адсорбционную емкость по отношению к тяжелым металлам. Установлена достоверная положительная корреляция содержания органического вещества с валовым содержанием Zn ($r = 0,73$), Ni ($r = 0,49$), Cu ($r = 0,74$) в почвах поймы р. Обвы, а также тесная связь суммы обменных оснований и

концентрации Zn ($r = 0,86$), As ($r = 0,57$), Ni ($r = 0,49$), Cu ($r = 0,82$), Mn ($r = 0,55$) в почвах поймы р. Камы (таблица 8). Кислая реакция среды почвенного раствора почв пойм рек Камы и Обвы увеличивает в них подвижность тяжелых металлов. При снижении величины рН почвы происходит увеличение содержания подвижных форм Zn, Ni и Sr (приложение 2).

Таблица 8

Коэффициенты парной корреляции (r)
по Спирмену между основными физико-химическими
свойствами и валовым содержанием тяжелых металлов
в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, $n = 49$

Трансекта	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga
Сорг, %											
К	-0,49	-0,06	0,02	-0,57	-0,32	-0,45	0,12	-0,45	-0,53	-0,43	-0,22
О	0,73*	0,29	0,01	0,49*	0,74*	0,25	-0,59	-0,06	0,43	0,40	0,20
М	-0,61	-0,11	0,04	-0,73	-0,52	-0,53	0,02	-0,57	-0,73	-0,69	-0,30
S, мг-экв/100 г почвы											
К	0,86*	0,57*	-0,38	0,49	0,82*	0,55*	-0,61	-0,77	0,70*	0,77*	0,79*
О	-0,43	-0,44	-0,25	-0,38	-0,42	0,37	0,49	-0,34	-0,51	-0,72	-0,40
М	-0,27	0,06	-0,17	-0,46	-0,40	0,13	0,73*	-0,25	-0,42	-0,47	-0,19
рН _{КСl}											
К	-0,29	0,05	-0,10	-0,13	-0,17	0,21	0,72*	-0,37	-0,68*	-0,69*	-0,31
О	-0,88*	-0,30	0,04	-0,78*	-0,84*	0,25	0,90*	-0,14	-0,91*	-0,93*	-0,61*
М	0,01	-0,05	-0,19	-0,32	-0,22	0,17	0,52*	-0,11	-0,21	-0,15	-0,13

Примечание: * – достоверно при $P = 0,95$

Физико-химические условия проявления оксидогенеза и аккумуляция тяжелых металлов зависят, не только от состава и свойств почв, но и от их окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных режимов. Рассмотрим их особенности в почвах изученных трансект.

2.3. Окислительно-восстановительные условия в аллювиальных почвах

В качестве приоритетных и наиболее информативных параметров окислительно-восстановительных условий проявления анаэробнозиса В.И. Савич и соавторы [213] рекомендуют следующие: 1) оценка влажности почв; 2) оценка

окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и напряженность окислительно-восстановительных процессов по показателю pH; 3) оценка соотношения Fe/Mn в конкрециях. Кроме того, уровень анаэробнозиса может быть идентифицирован по химическим свойствам почв, физическим свойствам, агрохимическим показателям, морфологическим признакам, ферментативной и микробиологической активности.

Режимные наблюдения. Почвенно-гидрологические исследования служат основой генетической характеристики почв. Наблюдения за гидрологическим режимом почв в почвенно-экологическом ряду (трансекте) дополняют представления о процессах почвообразования и свойствах, которые эти процессы обуславливают.

Режим влажности аллювиальных почв изучен под естественной луговой растительностью пойм рек Камы и В. Мулянки. В период с мая по сентябрь 2003-2005 гг. еженедельно в трехкратной повторности послойно, через 10 см, до глубины 1 м отбирали образцы почв буром Измаильского. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом. Величины Eh, pH и t° измеряли в трехкратной повторности рН-метром Анион-7010 в свежевыкопанных прикопках по генетическим горизонтам H, [T], AYg, C1g, AY, C1[hh] (разр. 41-43) и Hmr, H, AYpa, W(AY), C1 (разр. 32-34) [219]. Сроки измерения совпадали с отбором образцов почв на влажность. Для измерения Eh применяли комбинированный редокс-электрод с хлорсеребряным электродом сравнения HI 3230. Значения электродвижущей силы (ЭДС) приводили к Eh относительно водородного электрода. Для измерения pH использовали рН-электрод HI 1230, для измерения температуры – термокомпенсатор. Измерения температуры, Eh и pH проводили в одно и то же время: с 9 до 11 часов.

Редокс-потенциал Eh выразили через активность электронов *pe*. Ее величина определяется из выражения:

$$pe = Eh : \theta, \quad (2)$$

где $\theta = 2,3 RT/F$ – температурный коэффициент по И.С. Кауричеву [117].

Затем рассчитали показатель парциального давления водорода rH , который представляет собой отрицательный логарифм концентрации молекулярного водорода по уравнению:

$$rH = 2(pe + pH). \quad (3)$$

Режим влажности. Период исследования режима влажности аллювиальных почв (2003-2005 гг.) характеризовался контрастными гидротермическими условиями. Погодные условия вегетационных периодов в годы исследований различались по температуре воздуха, количеству осадков и их временному распределению. Теплые периоды 2003 и 2004 гг. были аномально влажными, в 2005 г. сумма осадков близка к среднемноголетним значениям. Поемность наблюдалась в прирусловой части поймы р. В. Мулянки только в апреле, за три-четыре недели до начала режимных наблюдений, продолжительность затопления 15-20 дней.

По данным метеостанции г. Перми [225, 226, 227] в 2003 г. среднесуточная температура мая превысила среднемноголетнюю на 2°C , количество осадков составило 100%. Прохладная погода наблюдалась весь июнь, в третьей декаде которого выпадали частые и обильные дожди. В июле выпало 46 мм осадков, что меньше нормы на 36%. Самым дождливым и теплым месяцем лета был август, среднесуточная температура его на $3,7^{\circ}\text{C}$ оказалась выше среднемноголетней, а осадков выпало 209% от нормы. Сумма осадков за вегетационный период 2003 г. составила 409 мм.

Погодные условия 2004 г. мало отличались от 2003 г., среднесуточная температура вегетационного периода превысила среднемноголетнюю на $2,8^{\circ}\text{C}$, количество осадков составило 147% от нормы. В июне стояла холодная и дождливая погода, июль был сухим и жарким, среднесуточная температура превысила среднемноголетнюю на $3,2^{\circ}\text{C}$, в третьей

декаде месяца прошли ливневые дожди. Август характеризовался умеренно-теплой погодой с достаточным количеством осадков. Сентябрь был теплый, температура держалась на уровне среднемноголетних показателей. Сумма осадков за вегетационный период 2004 г. составила 453 мм.

Первые две декады мая 2005 г. температура воздуха составила 14-19°С, к концу месяца снизилась до 6-11°С. Осадки наблюдались в виде ливневых дождей преимущественно в третьей декаде. Июнь был в основном холодный с осадками в виде обложных дождей. В июле осадки выпадали преимущественно в первой декаде, в конце месяца установилась теплая сухая погода с температурой 20-25°С. Август характеризовался преимущественно теплой погодой с недостаточным количеством осадков. В сентябре температура воздуха и количество осадков соответствовали средней многолетней норме. Сумма осадков за вегетационный период 2005 г. составила 289 мм.

Влажность аллювиальных почв в *пойме р. Камы* в 2004-2005 гг. имела выраженную динамичность и зависела от погодных условий (приложение 3)

Влажность иловато-перегнойно-глеевой почвы в *пойме р. В Мулянки* (разр. 32) в 2003 г., в связи с неравномерным выпадением осадков, колебаниями температуры воздуха и уровня грунтовых вод изменялась в широком интервале (рисунок 7). В конце мая – начале июля 2003-2005 гг. содержание влаги в слое 0-30 см находилось в пределах ППВ-ПВ (рисунки 7-9). Во второй половине июля и августе 2003 и 2004 гг. влажность почвы в верхних горизонтах периодически снижалась до критического интервала ВРК-ППВ.

Обильные осадки насыщали почву в верхних горизонтах до ПВ, с глубины 30-35 см формировалась верховодка.

Режим влажности постагрогумусовой глееватой почвы в 2003 и 2005 гг. складывался довольно однородно. В мае-июне влажность гумусово-аккумулятивного горизонта устойчиво сохранялась в интервале ВРК-ППВ.

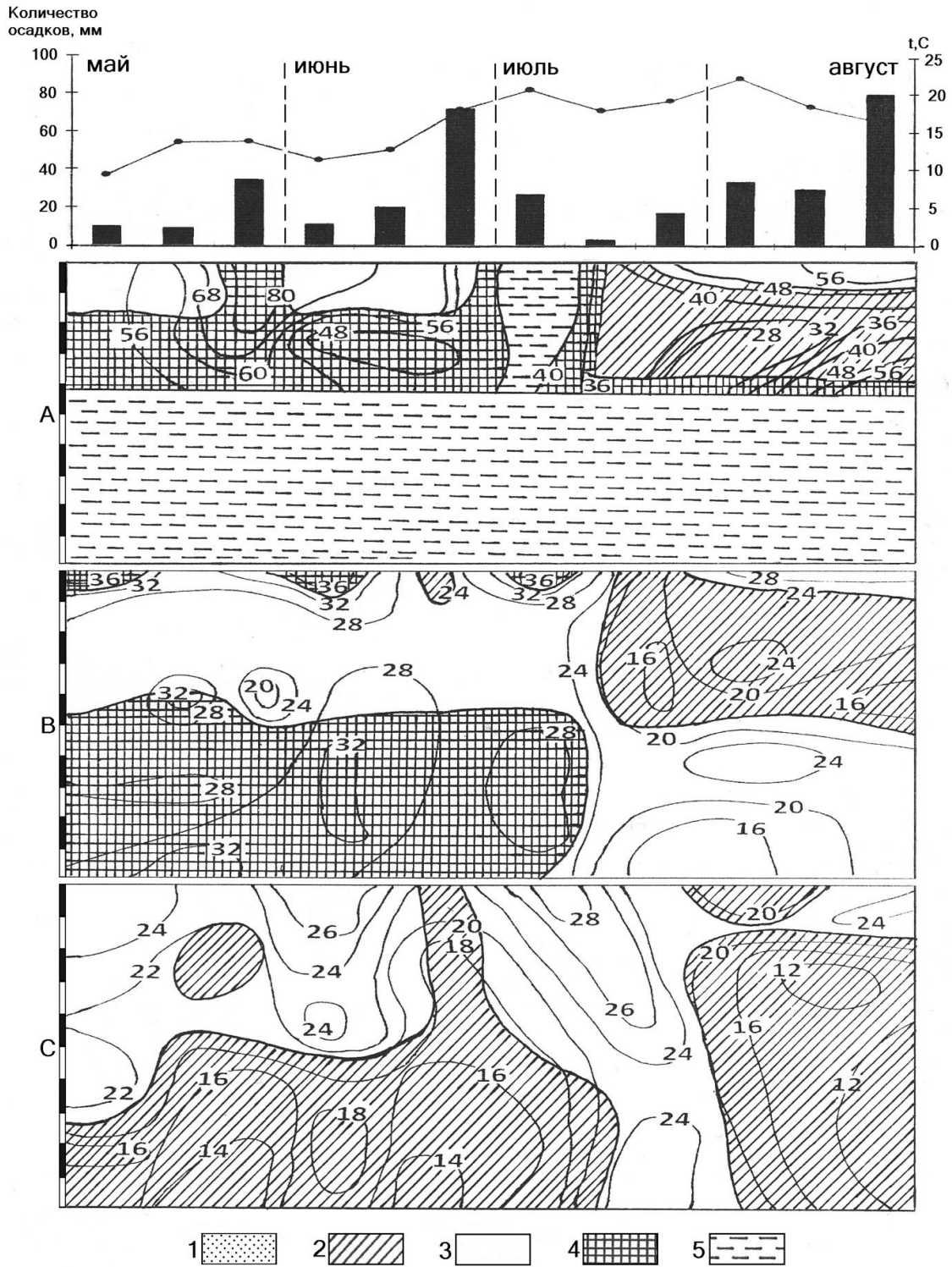


Рисунок 7. Режим влажности почв (в % от массы и категориях почвенной влаги) аллювиальных почв р. В. Мулянки:

А – аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная,
 В – постагрогумусовая аллювиальная глееватая,
 С – аллювиальная слоистая типичная, 2003 г
 (1 – < ВЗ, 2 – ВЗ-ВРК, 3 – ВРК-ППВ, 4 – ППВ-ПВ, 5 – ПВ)

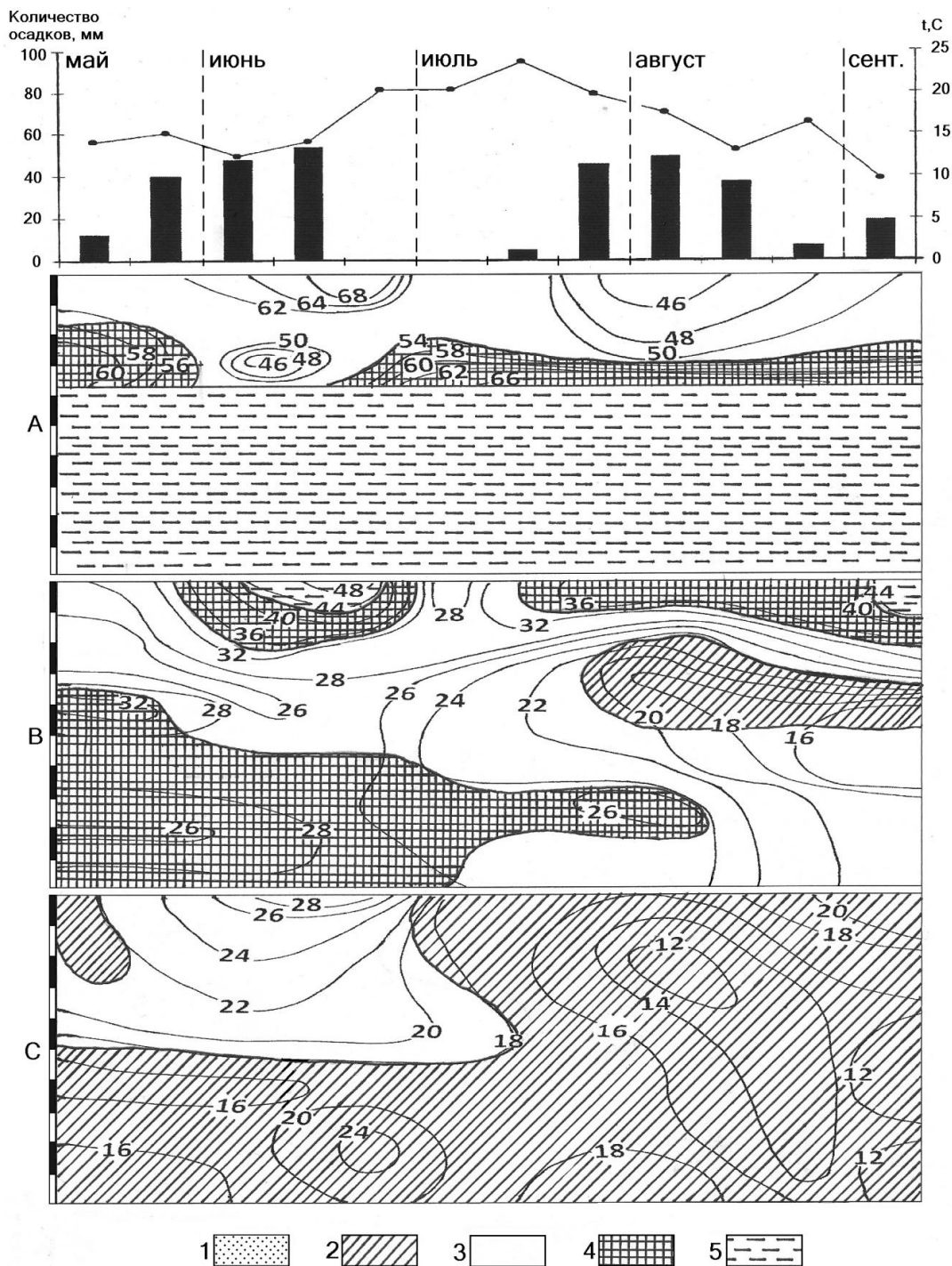


Рисунок 8. Режим влажности почв (в % от массы и категориях почвенной влаги) аллювиальных почв р. В. Мулянки:

А – аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная,

В – постагрогумусовая аллювиальная глееватая,

С – аллювиальная слоистая типичная, 2004 г.

(1 – < ВЗ, 2 – ВЗ-ВРК, 3 – ВРК-ППВ, 4 – ППВ-ПВ, 5 – ПВ)

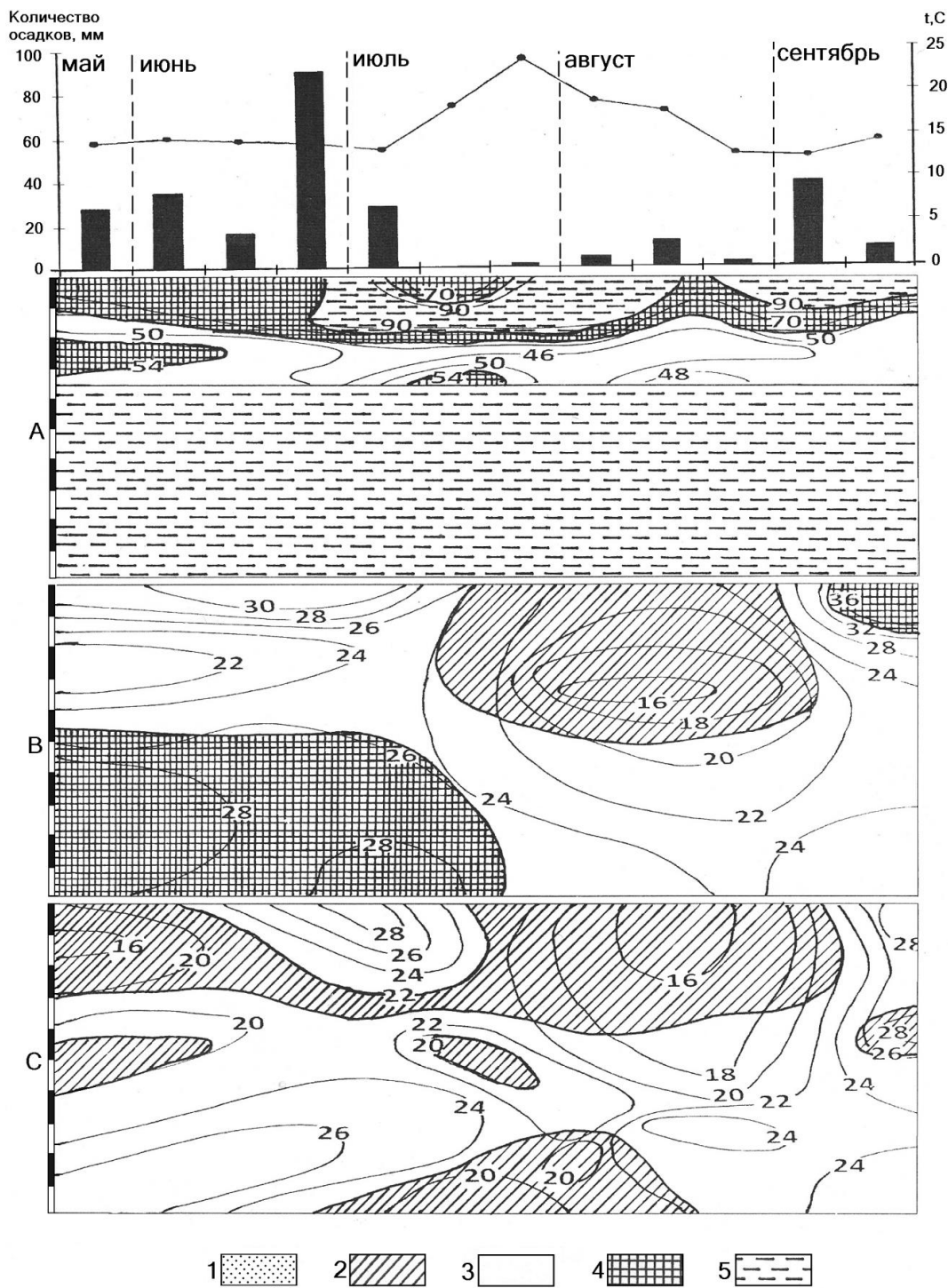


Рисунок 9. Режим влажности почв (в % от массы и категориях почвенной влаги) аллювиальных почв р. В. Мулянки:

А – аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная,

В – постагрогумусовая аллювиальная глееватая,

С – аллювиальная слоистая типичная, 2005 г.

(1 – < ВЗ, 2 – ВЗ-ВРК, 3 – ВРК-ППВ, 4 – ППВ-ПВ, 5 – ПВ)

В июле интенсивно иссушались поверхностные, а в дальнейшем – и более глубокие слои почвы за счет транспирации и испарения. Осадки на непродолжительный период повышали влажность до интервала ПВ-ППВ. В конце августа – сентябре, с выпадением дождей и понижением температуры и, следовательно, с уменьшением испарения, началось накопление влаги. В наиболее влажный год (2004 г.) (рисунок 8) в мае влажность в изученной толще почвенного профиля находилась в интервале ВРК-ППВ. После интенсивных осадков в первые две декады июня влажность гумусового горизонта возросла до уровня ПВ, с третьей декады июля до сентября была на уровне ПВ-ППВ. В нижележащих слоях (40-100 см) в мае-июле влажность находилась в пределах ППВ-ПВ, затем снижалась до ВРК-ППВ.

Слоистая почва в первую декаду мая 2003 г. была насыщена влагой на уровне ППВ. Начиная со второй декады мая, влажность ее снизилась до значений ВЗ-ВРК. После выпадения осадков верхние горизонты почвы на непродолжительное время увлажнялись до ВРК-ППВ. Уменьшение количества дождей и резкое повышение температуры воздуха во второй и третьей декадах июля стали причиной снижения влажности почвы до интервала ВЗ-ВРК.

Режим влажности почвы в притеррасной пойме и динамика уровня почвенно-грунтовых вод характеризуют иловато-перегнойно-глеевую почву как гидроморфную. В постагрогумусовой глееватой почве и слоистой типичной почве режим влажности характеризуется контрастностью: кратковременные условия избыточного увлажнения (выше ППВ) чередуются с периодами иссушения почвы (ВРК-ВЗ). Супесчаная почва прирусловой поймы подвергается большему иссушению, чем глинистая почва центральной поймы. Особенности режимов влажности почв на этих сегментах поймы объясняют отсутствие морфологических признаков оглеения в верхней метровой толще профиля.

Динамика окислительно-восстановительного потенциала, реакции почвенного раствора и температуры. Трансформация (гидр)оксидов железа и марганца зависит от состояния окислительно-восстановительной системы почвы, которая является чрезвычайно динамичной, и связана с ее влажностью. Изменение влажности почвы во времени оказывает влияние на динамику Eh, рН и температуры почвы.

Динамика Eh. Аллювиальные почвы пойм рек В. Мулянки и Камы в 2004-2005 гг. отличались по динамике окислительно-восстановительного потенциала. В пойме р. Камы она была выражена в большей степени (рисунок 10). В поверхностных (Н, Н_{mr}) горизонтах иловато-перегнойно-глеевой почвы поймы р. В. Мулянки (разр. 32) величина Eh в 2003 г. изменялась в широком интервале: от 210 до 583 мВ (рисунок 11). По оценке И.С. Кауричева [117], зона преобладания окислительных процессов определяется величиной Eh = 450 мВ и выше, восстановительных – ниже 350 мВ. В 2004 и 2005 гг. окислительно-восстановительные условия изменялись, по шкале В.Г. Саакяна [211], от умеренно восстановительных до интенсивно окислительных, повышение влажности до 90% от полной влагоемкости и выше сопровождалось снижением величины Eh. Высокое содержание органического вещества и анаэробные условия в перегнойных горизонтах способствовали наиболее низким значениям Eh и развитию восстановительных условий почвообразования. Аналогично складывалась динамика Eh в 2004-2005 гг. в перегнойно-глеевой почве поймы р. Камы, где Eh изменялся от 209 до 714 мВ. В постагрогумусовой глееватой (разр. 33) и слоистой (разр. 34) почвах в 2003 г. аэробные условия почвообразования обеспечивали интенсивно окислительные (471 мВ) и очень интенсивно-окислительные (633 мВ) процессы. Гумусовые горизонты серогумусовой глеевой (разр. 42) и серогумусовой глееватой (разр. 43) почв в 2004-2005 гг.

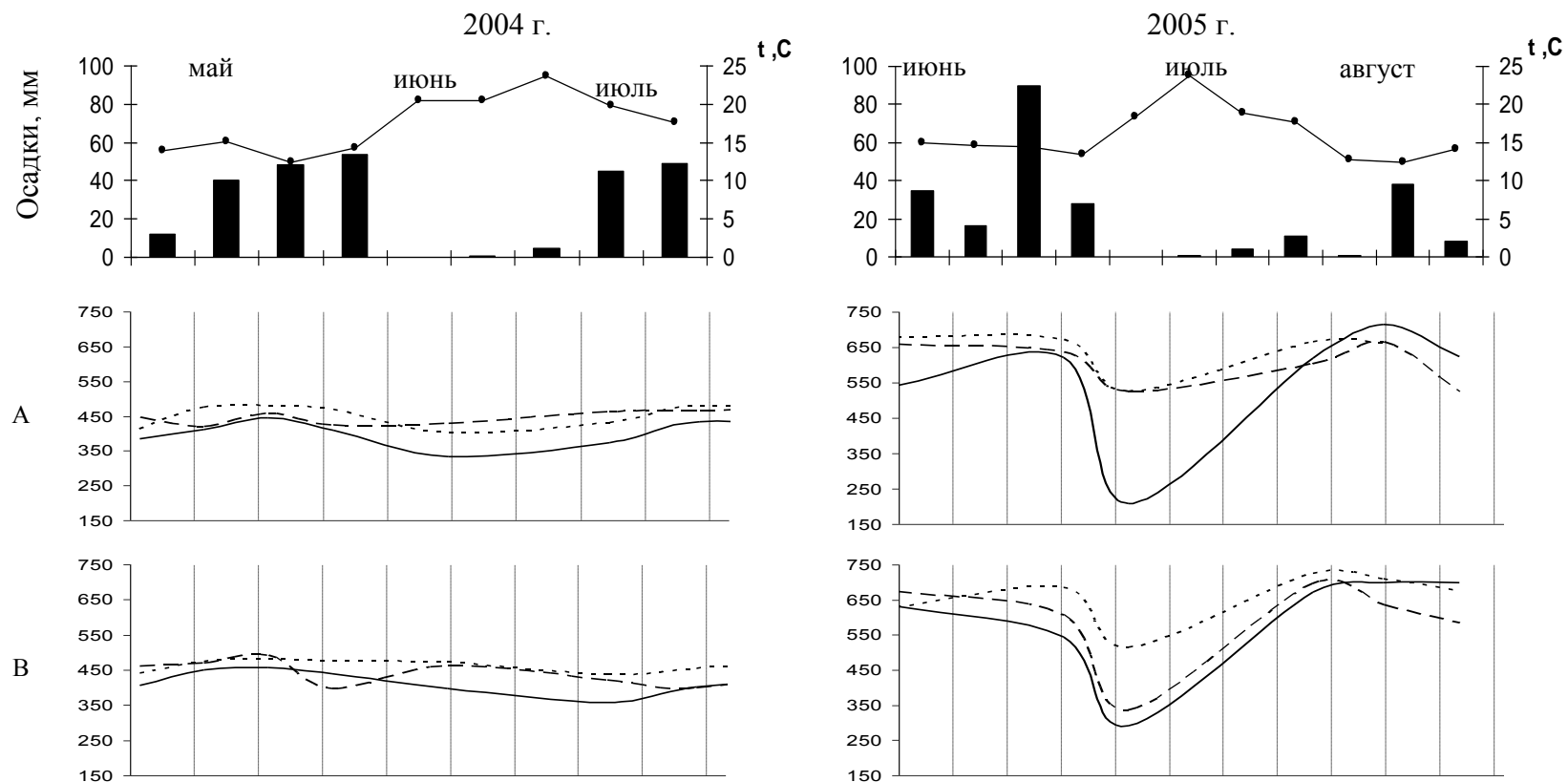


Рисунок 10. Динамика окислительно-восстановительного потенциала в аллювиальных почвах поймы р. Камы с мая по сентябрь, 2004- 2005 гг.
 А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- аллювиальная перегнойно-глеевая типичная (разр. 41) Н, 0-23; [Т], 23-89;
- - - - - аллювиальная серогумусовая глеевая (разр. 42) АУg, 0-25; С1g, 25-31;
- аллювиальная серогумусовая глееватая (разр. 43) АУ, 0-20; С1[hh], 20-30.

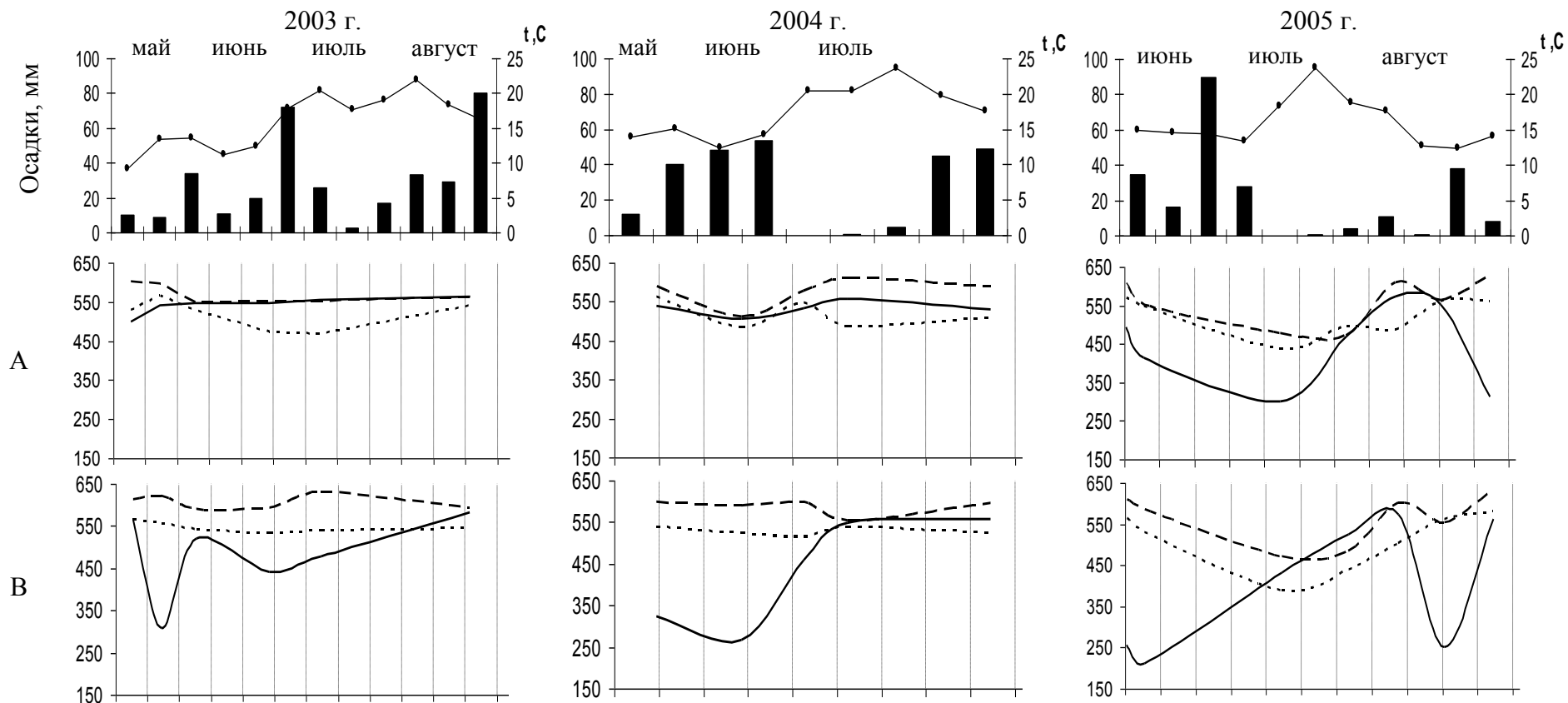


Рисунок 11. Динамика окислительно-восстановительного потенциала в аллювиальных почвах поймы р. В. Мулянки с мая по сентябрь, 2003- 2005 гг.

А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- перегнойно-глеевая типичная (разр. 32) Hmr, 0-15; [T], 15-32;
- постагрогумусовая аллювиальная глееватая (разр. 33) AYpa, 0-29; C1, 29-49;
- аллювиальная слоистая типичная (разр 34) W(AY), 0-30; C1[~], 30-41.

характеризовались интенсивно окислительными условиями (667-679 мВ), а в подповерхностных горизонтах редокс-потенциал снижался до значений, характеризующих умеренно-восстановительные условия (322 мВ). Более высокое содержание органического вещества верхних (гумусовых) горизонтов определяет интенсивность развития микробиологических восстановительных процессов и снижение значений E_h по сравнению с подгумусовыми горизонтами. По этой причине значение E_h за весь период наблюдения в подповерхностном горизонте выше, чем в поверхностном.

В соответствии с классификацией И.С. Кауричева [116], исследуемые аллювиальные почвы можно разделить на две группы: 1) с контрастным редокс-режимом, за счет развития сезонных восстановительных процессов – перегнойно-глеевая типичная (разр. 41, Кама); иловато-перегнойно-глеевая типичная (разр. 32, В. Мулянка); 2) с преобладанием окислительных процессов – постагрогумусовая глееватая (разр. 33, В. Мулянка), слоистая типичная (разр. 34, В. Мулянка), серогумусовая глеевая оруденелая (разр. 42, Кама), серогумусовая глееватая (разр. 43, Кама).

Чередование окислительных и восстановительных фаз в динамике E_h является одним из основных факторов развития оксидогенеза железа и марганца в профиле аллювиальных почв.

Динамика pH. В аллювиальных почвах всех генетических сегментов поймы р. Камы значения pH почвенного раствора заметно варьировали во времени от 3,9 до 8,3. Реакция почвенного раствора перегнойно-глеевой (разр. 41) и серогумусовой глееватой (разр. 43) почв поймы р. Камы характеризовалась как кислая с $pH < 6.5$ [195]. В начале мая и середине сентября 2005 г. реакция почвенного раствора серогумусовой глеевой оруденелой почвы (разр. 42), была щелочной, это совпадало с минимальными значениями температуры почвы (рисунок 12).

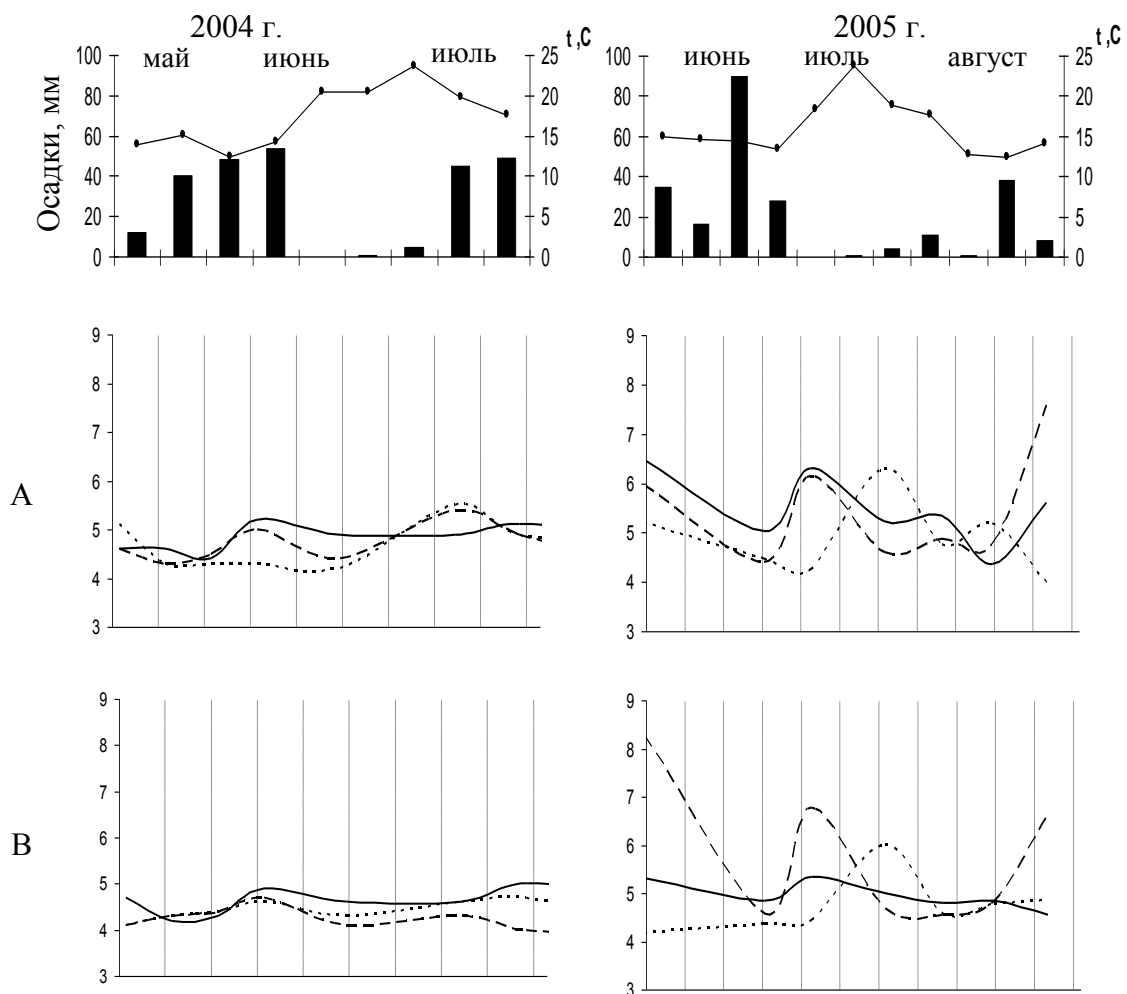


Рисунок 12. Динамика рН в аллювиальных почвах поймы р. Камы с мая по сентябрь, 2004-2005 гг.

А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- аллювиальная перегнойно-глеевая типичная (разр. 41) Н, 0-23; [Т], 23-89;
- - - аллювиальная серогумусовая глеевая (разр. 42) АУg, 0-25; С1g, 25-31;
- аллювиальная серогумусовая глееватая (разр. 43) АУ, 0-20; С1[hh], 20-30.

В пойме р. В. Мулянки в 2003 г. реакция среды изменялась от щелочной (рН 8,1) разр. 32 до кислой (5,1) разр. 33, но преимущественно была нейтральной (рисунок 13). Аналогично складывалась динамика рН в 2004 и 2005 гг.

Динамика температуры. Колебания температуры в наблюдаемой толще аллювиальных почв совпадали с изменением температуры воздуха. В пойме р. Камы в наибольшей степени прогревалась серогумусовая глееватая почва, температура ее в среднем на 3-6°C выше перегнойно-глеевой и серогумусовой глеевой почв, $t_{\text{ср}} - 16-18^{\circ}\text{C}$ (рисунок 14). В пойме р. В. Мулянки более высокая температура была в постагрогумусовой глееватой почве (разр. 33). В среднем за период наблюдения она составила 15-16°C, при максимуме 19°C и минимуме 12°C (рисунок 15). В притеррасной и прирусловой пойме температура почв была на 1-2°C ниже.

Между температурой и Eh в аллювиальных почвах выявлена обратная и прямая зависимости (приложение 4). В подповерхностном горизонте постагрогумусовой глееватой (разр. 33, В. Мулянка), гор. W(AУ) и гор. С1~ слоистой (разр. 34, В. Мулянка) почв наблюдается снижение Eh с ростом температуры, так как увеличение температуры приводит к активизации биоты, участвующей в редукции (гидр)оксидов. Для гор. АУ(W) (разр. 34) уравнение регрессии имеет вид: $y = -8,6x + 640,3$ ($r = -0,60$) (приложение 4). Прямая зависимость Eh от температуры установлена в гор. [Т] перегнойно-глеевой оруденелой (разр. 41, Кама) и гор. Нmr иловато-перегнойно-глеевой (разр. 32, В. Мулянка) почв. Приращение Eh с ростом t° в гор. Нmr (разр. 32) описывается уравнением: $y = 24,505x + 82,854$ ($r = 0,51$) (приложение 4). Возрастание Eh при увеличении температуры происходит за счет снижения содержания продуктов редукции в процессе образования комплексов с органическим веществом [117] и (или) фиксации восстановленного Fe(II) на поверхности Fe(III)-(гидр)оксидов [290].

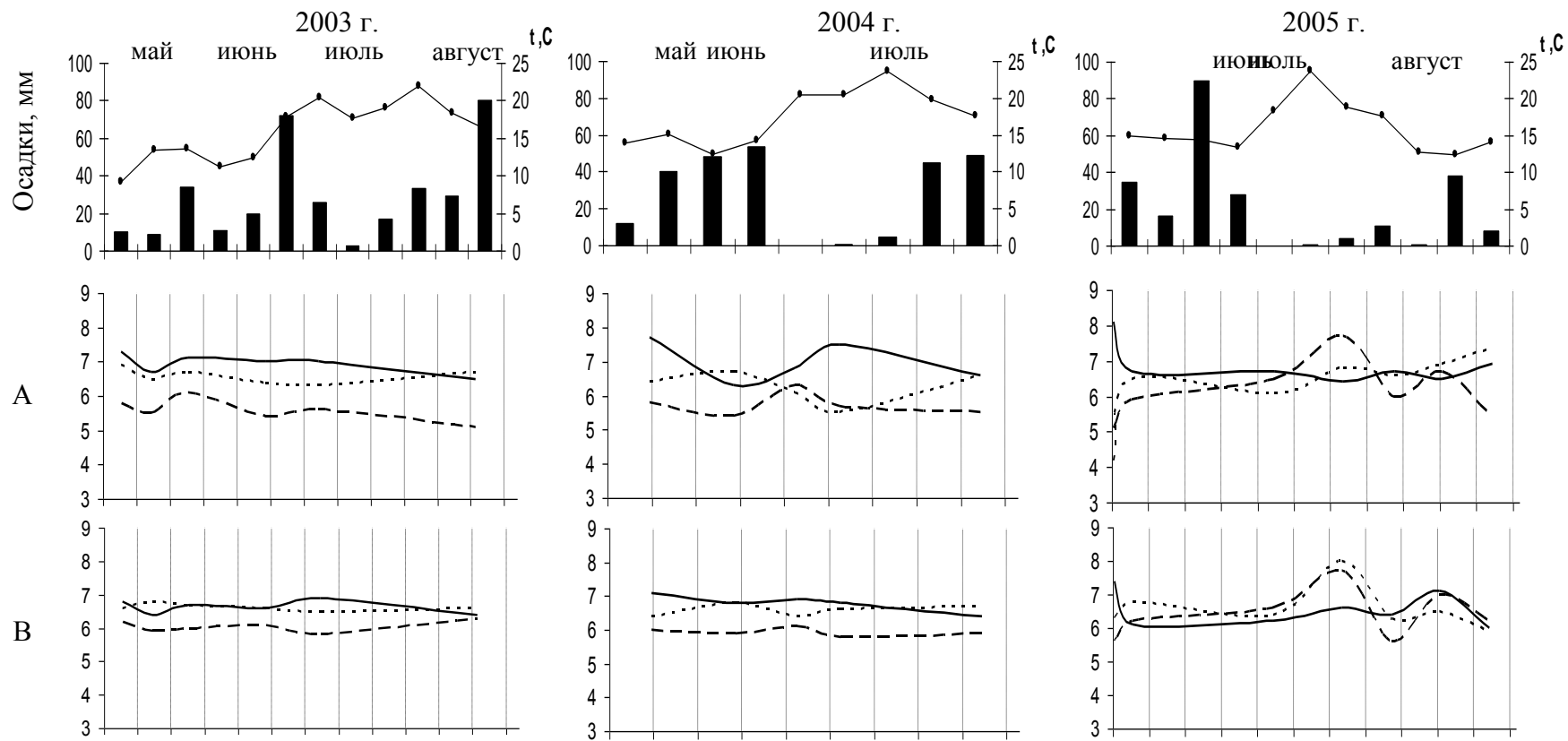
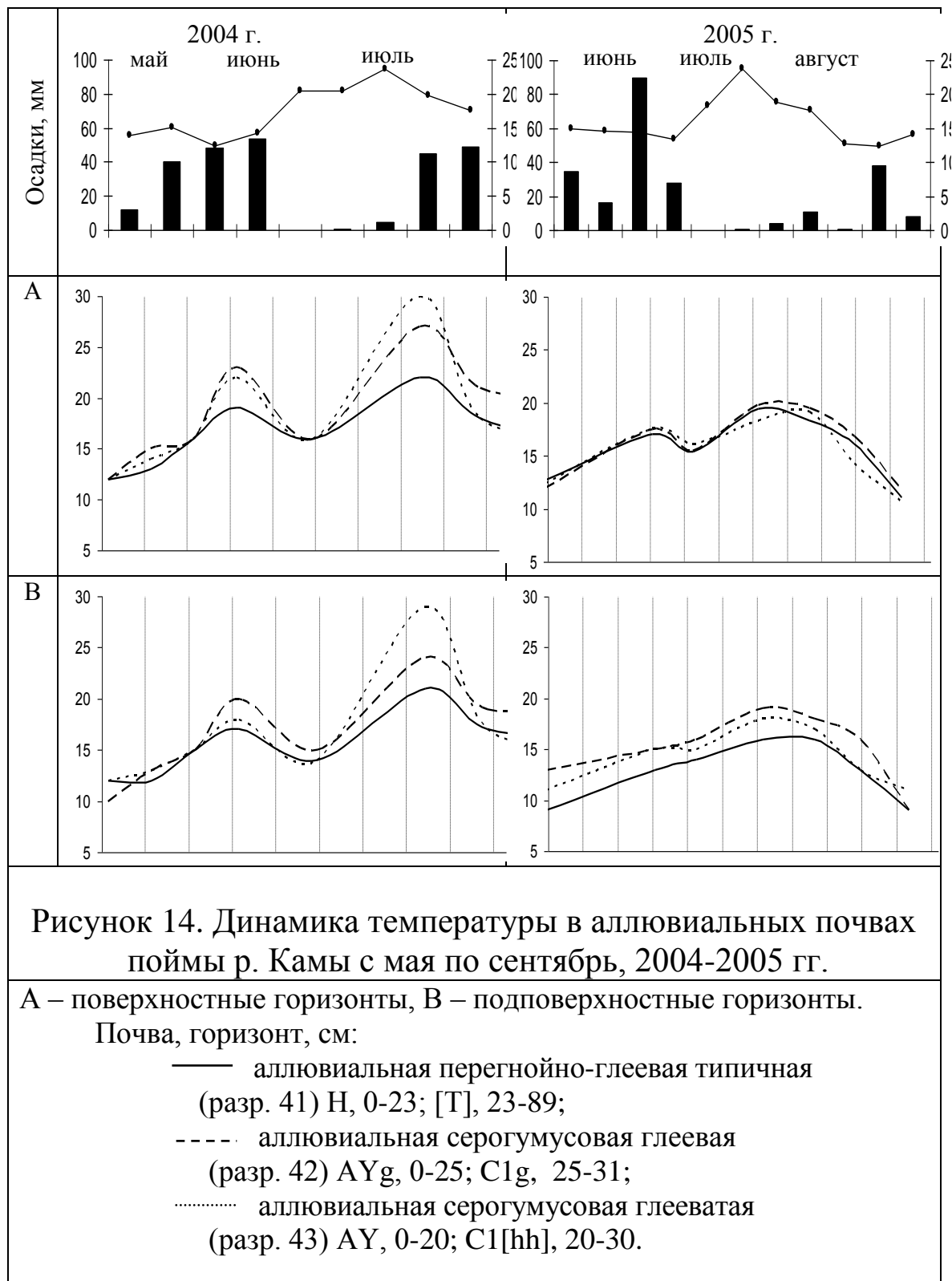


Рисунок 13. Динамика рН в аллювиальных почвах поймы р. В. Мулянки с мая по сентябрь, 2003-2005 гг. А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- перегнойно-глеевая типичная (разр. 32) Hmr , 0-15; [Т], 15-32;
- - - постагрогумусовая аллювиальная глееватая (разр. 33) $AУpa$, 0-29; $C1$, 29-49;
- аллювиальная слоистая типичная (разр 34) $W(AУ)$, 0-30; $C1^{...}$, 30-41.



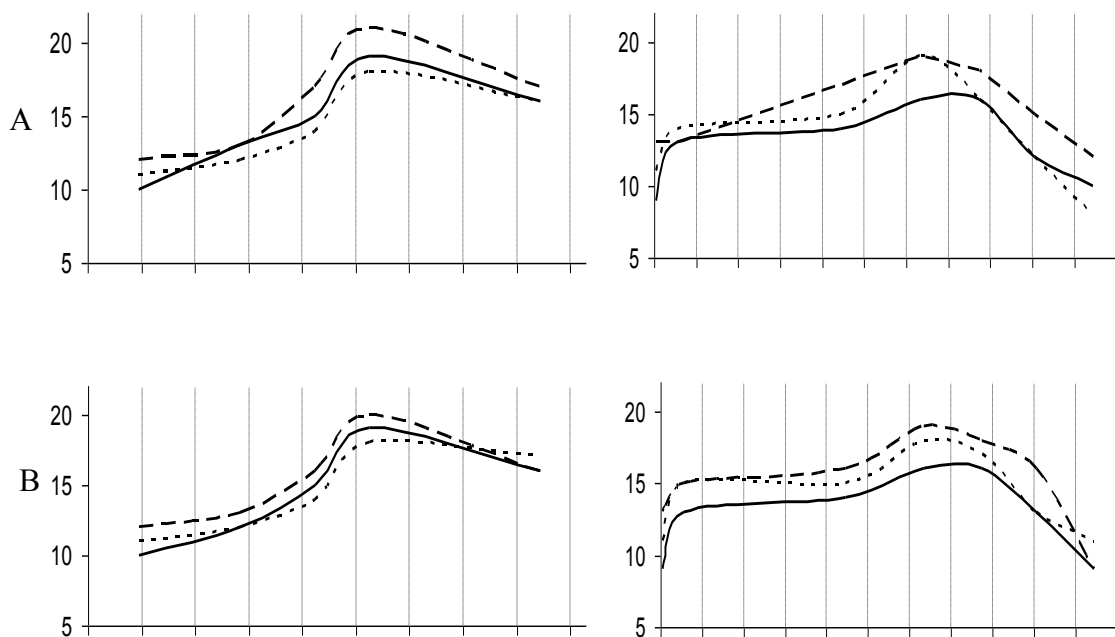
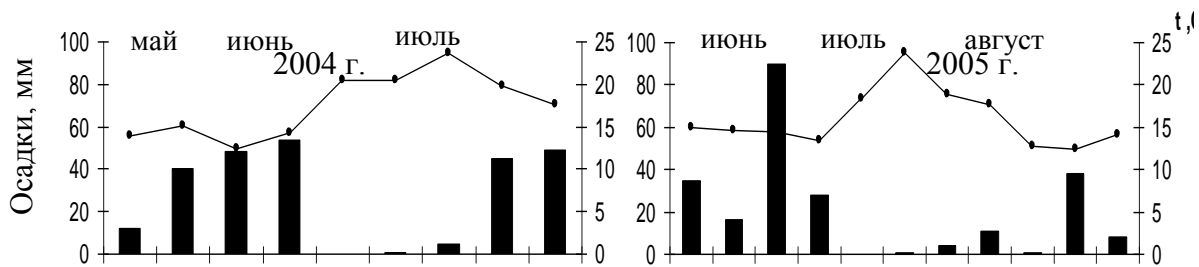


Рисунок 15. Динамика температуры в аллювиальных почвах поймы р. В. Мулянки с мая по сентябрь, 2004-2005 гг.

А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- перегнойно-глеевая типичная
(разр. 32) Hmr, 0-15; [Т], 15-32;
- - - - постагрогумусовая аллювиальная глееватая
(разр. 33) AYpa, 0-29; C1, 29-49;
- аллювиальная слоистая типичная
(разр 34) W(AУ), 0-30; C1[~], 30-41.

Пленки Fe(II) препятствуют переносу электронов к поверхности (гидр)оксидов и замедляют процессы восстановления Fe(III).

Величина рН, как правило, возрастает при повышении влажности за счет снижения концентрации H^+ в почвенном растворе. В профиле аллювиальной серогумусовой глеевой почвы (разр. 42, Кама) в гор. АУg и С1g наблюдается средняя положительная корреляция ($r = 0,5 \dots 0,4$) между рН и полевой влажностью (приложение 5). В условиях кислой реакции среды при повышении влажности происходит возрастание концентрации H^+ , как результат микробиологических процессов, связанных с оглеением и образованием органических и минеральных кислот, которые переходят в почвенный раствор и снижают рН.

В гор. АУра и С1[~] постагрогумусовой глееватой (разр. 33, Мулянка) и гор. АУ серогумусовой глееватой (разр. 43, Кама) почв выявлена отрицательная зависимость между влажностью и величиной рН ($r = -0,4 \dots -0,45$). При повышении температуры влажность почвы снижается. Во всех изученных почвах корреляция между W и t°C отрицательная. Коэффициенты корреляции между влажностью и Eh низкие, так как определяются различными параметрами химического и биохимического характера и устойчивостью почв к изменению уровня увлажнения.

Динамика показателя парциального давления водорода. В процессе редукции соединений железа создаются предпосылки для оксидогенеза, если восстановительные условия со временем сменяются окислительными. В Международной базе почвенных данных снижение величины показателя парциального давления водорода rН до значения $rH_{крит} = 19$ служит критерием оглеения почв [301]. Ниже этого значения происходит актуальная редукция Fe(OH)₃ до Fe(II). При rН > 19 в оглеенных горизонтах, при создавшихся окислительных условиях морфологически проявляется остаточный глей. Такой глей очень распространен в почвах таежно-лесной зоны, где отмечается rН > 19 [117]. Для оценки величины rН И.С. Кауричевым [117] использовались два

варианта критического уровня показателя: средний (rH_{cp}) и минимальный ($rH_{мин}$). Среднее во времени значение rH_{cp} использовано для группировки почв по редокс-потенциалу [97], подразделяя их на почвы с господством окислительных или восстановительных процессов: с $rH > 27$ и $rH < 27$, соответственно. Минимальные значения $rH_{мин}$ реже используют для диагностики и классификационных целей [56].

В ходе полевых режимных наблюдений были определены величины Eh и pH почвенного раствора, что позволило рассчитать парциальное давление водорода rH в изученных аллювиальных почвах по средним (rH_{cp}) и минимальным ($rH_{мин}$) значениям.

Величина $rH_{мин}$ для характеристики оглеенных и перегнойных горизонтов аллювиальных почв эффективнее, чем rH_{cp} . Это связано с тем, что оглеение как периодический процесс в почвах пойм развивается, главным образом, в весенний период при максимальном снижении rH во время паводка или подъема грунтовых вод.

Средняя, за период наблюдения, величина показателя парциального давления водорода rH_{cp} в гумусовых горизонтах почв *поймы р. Камы* в 2004-2005 гг. составила: $26,5 \pm 1,3$ – в перегнойно-глеевой почве, $27,9 \pm 1,1$ в серогумусовой глеевой оруденелой, $28,4 \pm 1,1$ – в серогумусовой глееватой (рисунок 16). Величина $rH_{мин}$ была зафиксирована на уровне 19,9, 23,3 и 22,4, соответственно. В подгумусовых горизонтах почв прирусловой и притеррасной пойм эти значения были выше, а в почве центральной пойме – ниже.

Величина показателя парциального давления водорода rH_{cp} в поверхностных горизонтах иловато-перегнойно-глеевой почвы *поймы р. В. Мулянки* в 2003-2005 гг. составила: в иловато-перегнойно-глеевой – $31,4 \pm 0,7$, в постагрогумусовой глееватой – $31,5 \pm 2,0$, в слоистой почве – $33,0 \pm 0,3$. Величина $rH_{мин}$ опускалась до значений 24,0, 28,9, 27,5, соответственно (рисунок 17).

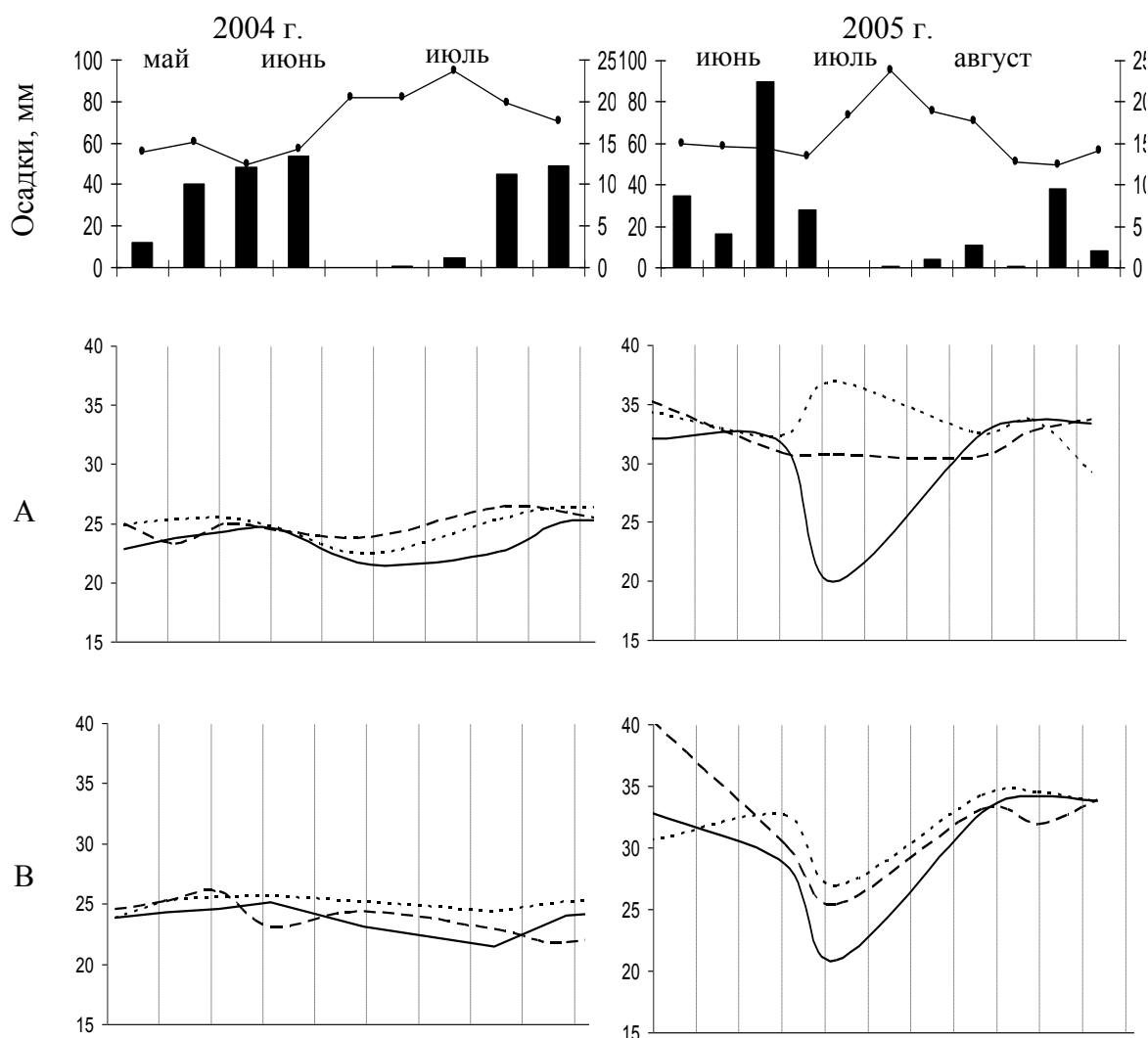


Рисунок 16. Динамика парциального давления водорода pH в аллювиальных почвах поймы р. Камы с мая по сентябрь, 2004-2005 гг.

А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- аллювиальная перегнойно-глеяевая типичная (разр. 41) Н, 0-23; [Т], 23-89;
- - - аллювиальная серогумусовая глеевая (разр. 42) АУg, 0-25; С1g, 25-31;
- аллювиальная серогумусовая глееватая (разр. 43) АУ, 0-20; С1[hh], 20-30.

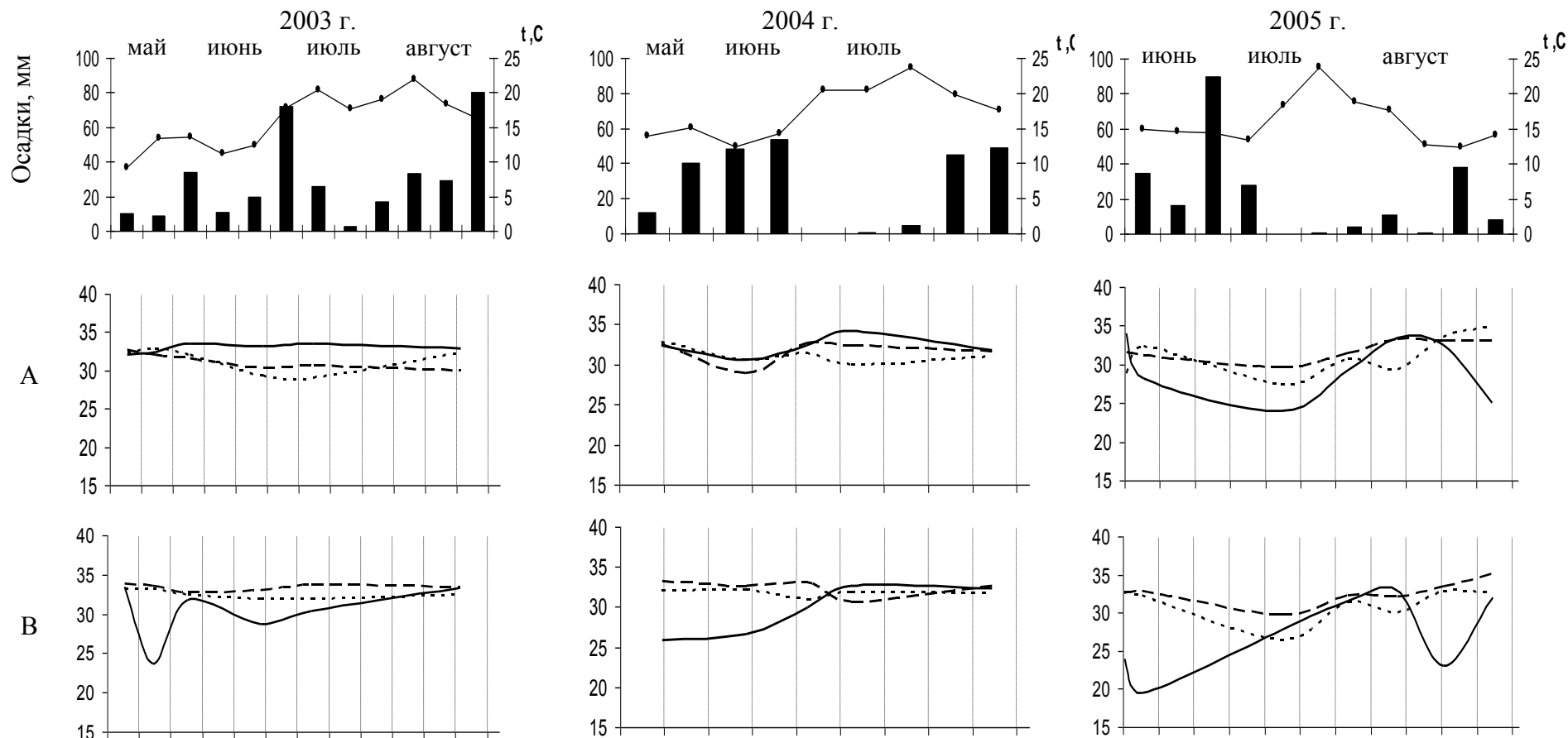


Рисунок 17. Динамика показателя парциального давления водорода в аллювиальных почвах поймы р. В. Мулянки с мая по сентябрь, 2003-2005 гг.

А – поверхностные горизонты, В – подповерхностные горизонты.

Почва, горизонт, см:

- перегнойно-глеевая типичная (разр. 32) Hmr, 0-15; [T], 15-32;
- постагрогумусовая аллювиальная глееватая (разр. 33) AYpa, 0-29; C1, 29-49;
- аллювиальная слоистая типичная (разр 34) W(AУ), 0-30; C1~~, 30-41.

В подгумусовых горизонтах почв прирусловой и при-террасной пойм $rH_{\text{мин}}$ ниже (19,5 и 26,4), в центральной пойме $rH_{\text{мин}}$ выше (29,8), чем в гумусовом горизонте.

Таким образом, в период проведения режимных наблюдений (май-сентябрь 2003-2005 гг.) в аллювиальных почвах пойм рек Камы и В. Мулянки не было зафиксировано снижение rH до значений меньше 19, которые характеризуют глеевые горизонты с интенсивно восстановительными условиями почвообразования [212].

Формирование глеевых горизонтов при $rH_{\text{мин}} < 19$ в аллювиальных почвах, вероятно, происходит в период паводка или сразу после его окончания при активизации микробиологических процессов в почве. Следовательно, для характеристики оглеенных и перегнойных горизонтов аллювиальных почв использовать величину $rH_{\text{мин}}$ эффективнее, чем $rH_{\text{ср}}$.

Переменные окислительно-восстановительные условия почвообразования в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, выявленные по динамике влажности, Eh, $t^{\circ}\text{C}$, pH и rH , определяют развитие оксидогенеза Fe и Mn, так как в почвах пойм создаются условия для фаз редукции и окисления различной продолжительности: $\text{Fe (II)} \leftrightarrow \text{Fe (III)}$, $\text{Mn (II)} \leftrightarrow \text{Mn (IV)}$.

ГЛАВА 3. ФОРМЫ И СТЕПЕНЬ РАЗВИТИЯ ОКСИДОГЕНЕЗА В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ПОЙМ РЕК КАМЫ, ОБВЫ И ВЕРХНЕЙ МУЛЯНКИ

3.1. Фазовый состав минералов железа и марганца в почвах

Фазовый состав минералов железа и марганца в почвах пойм определяется минералогическим составом аллювия и особенностями оксидогенеза железа и марганца. В красноцветных пермских породах Среднего Предуралья и продуктах их выветривания преобладают гематит и гетит [56, 87, 154, 155].

Фазовый состав минералов определен в лаборатории кристаллохимии ИГЭМ РАН на просвечивающем электронном микроскопе JEM-100С методом микродифракции электронов в сочетании с качественным определением состава фазы на микроанализаторе «Кевекс» (аналитик А.В. Сивцов).

Для приготовления препарата водную почвенную суспензию обрабатывали ультразвуком на диспергаторе УЗДН-2Т от 30 до 90 с. Затем суспензионный препарат наносили на прозрачную коллодиевую пленку-подложку и высушивали. При этом стремились к тому, чтобы на пленке-подложке при максимальном количестве частиц на единицу площади минеральные индивиды располагались, по возможности, изолированно. Для этого необходимо, чтобы при микродифракционном исследовании конкретной фазы не было наложения посторонних рефлексов. Под электронным микроскопом просматривали весь препарат диаметром 3 мм, а при необходимости – и несколько препаратов, приготовленных при разной концентрации суспензии и при разной продолжительности обработки ультразвуком. С одной и той же частицы размером вплоть до долей микрометра последовательно фиксировали электронно-микроскопическое изображение на просвет, микродифракционные картины и химический состав в виде энергодисперсионных спектров [270].

Фазовый состав (гидр)оксидов почв в изученных поймах имеет некоторые различия. Электронно-микроскопические данные показали, что разнообразие оксидов и гидроксидов железа в большинстве проанализированных образцов высокое (N=3-4) (таблица 9).

Таблица 9

Фазовый состав минералов железа и марганца в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, по данным просвечивающей электронной микроскопии

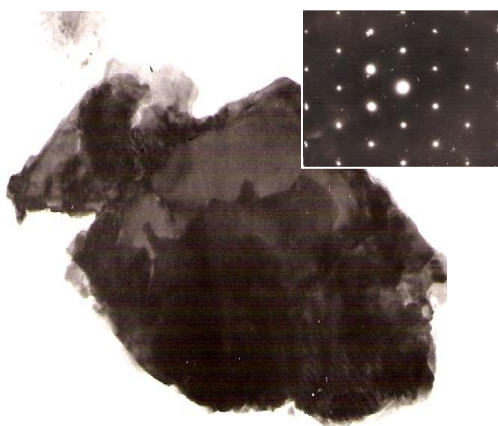
Разрез, пойма	Горизонт, глубина, см	Минералы Fe и Mn
41, Кама	H 0-23	Mn-фероксигит
	G [~] 89-110	Mn-фероксигит
42, Кама	A _{Yg} 0-25	фероксигит > Mn-фероксигит > гематит > гетит
	G _{fn} [~] 31-55	гетит > фероксигит > Mn-фероксигит
43, Кама	A _Y 0-20	фероксигит > Mn-фероксигит > гематит > гетит, сидерит
	C _{5g} [~] 100-150	фероксигит > Mn-фероксигит > гетит > сидерит
51, Обва	A _{Yg} 0-22	гематит > гетит > ферригидрит
	G [~] 75 и >	гематит > гетит
52, Обва	A _Y 0-24	гетит
	C ₄ [~] 101 и >	гематит > гетит
53, Обва	наилок	гетит
53, Обва	W(A _Y) 0-20	гетит > гематит
	C ₄ [~] 52-71	гетит
	C ₇ [~] 90 и >	гетит
32, В. Мулянка	H _{mr} 0-15	гематит > гетит
	C _{1g} [~] 32-49	гематит > гетит
33, В. Мулянка	A _{Ypa} 0-29	гематит > фероксигит > Mn-фероксигит > гетит > сидерит
	C _{4g} [~] 107-137	гетит > гематит > сидерит
34, В. Мулянка	W(A _Y) 0-30	гематит > фероксигит > Mn-фероксигит > гетит
	C ₅ [~] 100-108	гетит > гематит > фероксигит > Mn-фероксигит

Примечание: минералы перечислены в порядке встречаемости

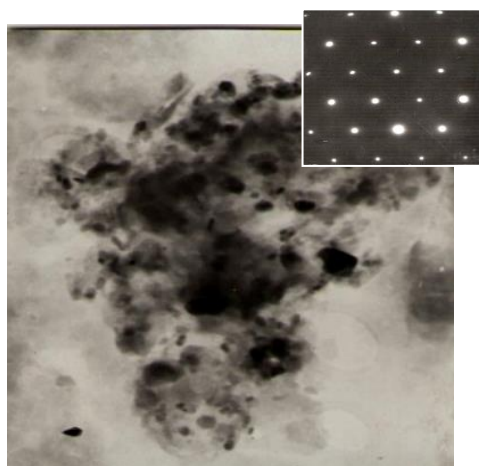
В аллювиальных почвах пойм рек Обвы и Камы основной формой гидроксидов железа являются гетит и Mn-ферроксигит. Форма агрегатов гетита волокнисто-игольчатая, ферроксигит и ферригидрит представлены тонкодисперсными спутанно-волокнистыми агрегатами (рисунок 18). Гематит в этих почвах образуется в меньшем количестве. Монокристаллы литогенного гематита крупные, пластинчатой формы с неровными краями, монокристаллы педогенного гематита значительно меньше (рисунок 18). Кристаллическая решетка гематита на дифракционной картине характеризуется хорошо упорядоченным расположением ионов железа (рисунок 18).

В почвах поймы р. Камы для образования термодинамически нестабильных минералов железа способствуют кислая реакция среды и высокое валовое содержание Mn, что в сочетании с контрастными ОВ-условиями определяет гидроксидогенез с образованием в основном марганецсодержащего ферроксигита (таблица 9). В нейтральных и слабощелочных почвах поймы р. В. Мулянки преобладают термодинамически стабильные гематит и гетит, встречаемость Mn-ферроксигита меньше (таблица 9, рисунок 19). В гор. W(AУ) слоистой почвы (разр. 34, В. Мулянка) выявлены свежесформированные мелкие монокристаллы гематита, что свидетельствует о его педогенной природе.

В аллювиальных почвах поймы р. В. Мулянки гор. АУ-ра (разр. 43) встречается также сидерит FeCO_3 (рисунок 19), образование которого связано с бактериальным разложением органического вещества, совмещенного с редукцией Fe при слабощелочной реакции среды [289]. Сидерит вместе с гетитом и гематитом присутствует также в гор. С4g (разр. 33, Мулянка) и в горизонтах АУ и С5g серогумусовой глееватой почвы (разр. 43, Кама) (Приложение 6). Совместное присутствие (гидр)оксидов и карбонатов служит показателем неустойчивости минералогической системы железа в почвах пойм.



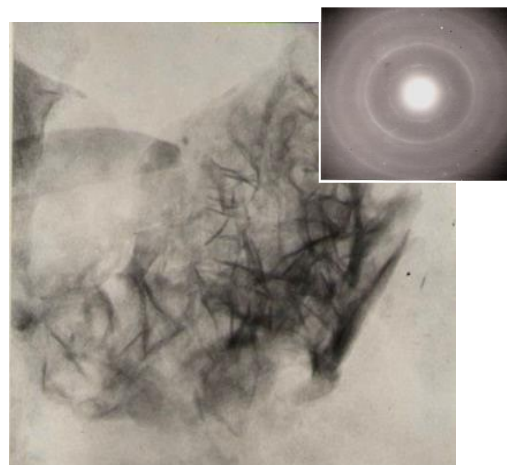
Гематит (с силикатами)
(увел. 50 000)
(В. Мулянка, разр. 33,
гор. АУра)



Гематит мелкодисперсный
со слоистыми силикатами
(увел. 50 000)
(Кама, разр. 43, гор. АУ)

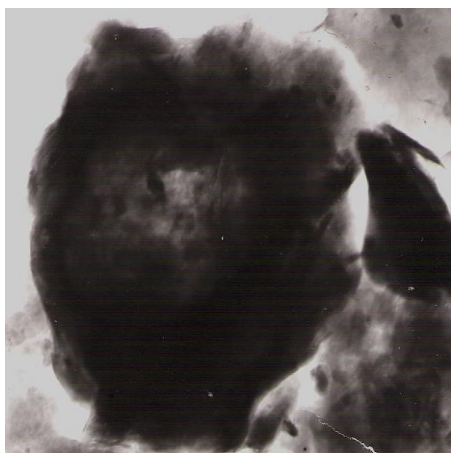


Гетит
(увел. 50 000)
(Кама, разр. 43, гор. С5g)



Mn-ферроксигит
(увел. 140 000)
(Кама, разр. 42, гор. Clg)

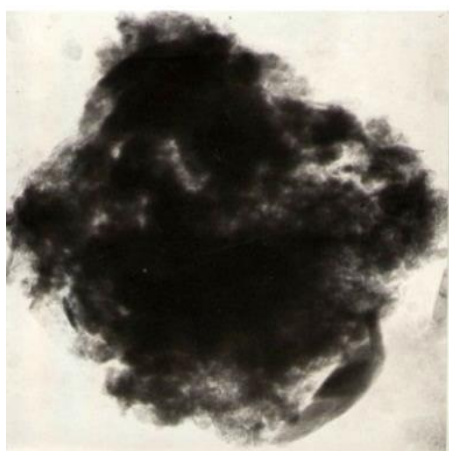
Рисунок 18. Электронно-микроскопические изображения
и микродифракционные картины (гидр)оксидов железа
в аллювиальных почвах Среднего Предуралья



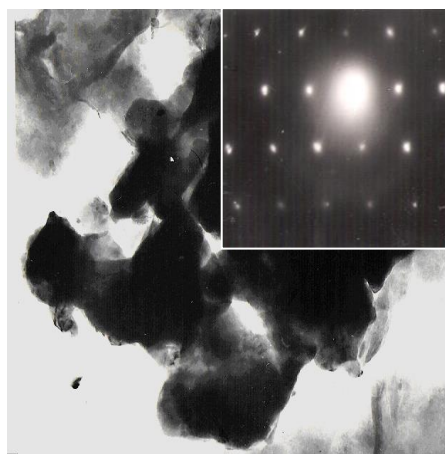
Fe-протофаза (протоферроксигит)
(увел. 35 000)
(В. Мулянка,
разр. 34, гор. W(AУ))



Ферроксигит
(увел. 40 000)
(В. Мулянка, разр. 34, гор. С5)



Гетит по ферроксигиту
(увел. 50 000)
(Кама, разр. 42, гор. АУg)



Сидерит
(увел. 35 000)
(В. Мулянка, разр. 33, гор. С4g)

Рисунок 19. Электронно-микроскопические изображения и микродифракционные картины (гидр)оксидов железа в аллювиальных почвах Среднего Предуралья

Оксидогенез железа и марганца в аллювиальных почвах Среднего Предуралья как «*процесс-механизм*», по И.А. Соловьеву [223], заключается в следующем. В условиях переменного редокс-режима в восстановительную фазу почвообразования железосодержащие силикаты, литогенный и педогенный гематит $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ частично редуцируются до Fe(II) и Mn(II) с последующим синтезом в фазу окисления гидроксидов: Mn-фероксигита $\delta(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn})\text{O}_{1+x}(\text{OH})_{1-x}$ и ферригидрита $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{FeOOH} \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$. Последний – очень неустойчивый эфемерный гидроксид, который, по данным U. Schwertmann [293], со временем при окислении превращается в более стабильные формы: гетит или гематит. Фероксигит также, в зависимости от скорости окисления и других почвенных условий, при нейтральной реакции среды переходит в гетит [294] (рисунок 19).

В оглеенных горизонтах изученных аллювиальных почв гематит не подвергается полному разрушению (гор. AYg, G, разр. 51; гор. C1g, разр. 32; гор. C4g, разр. 33; гор. AYg, Gfn[~], разр. 42). Ранее, микробиологические исследования выявили сохранение значительного количества частиц окристаллизованного железа в переувлажненных осадках речных вод или в наилке [281]. Связано это с адсорбцией восстановленного Fe(II) на крупных частицах (гидр)оксидов железа, которые являются сильными сорбентами, благодаря высокой прочности связи Fe(III)-O-Fe(II) [290].

Марганец, из-за низкого содержания в почвах, не может формировать собственные минералы, но часто изоморфно замещает Fe в решетке таких слабоупорядоченных гидроксидов, как фероксигит и ферригидрит. Структура Mn-фероксигита состоит из параллельных фрагментов фероксигита δFeOOH и ахтенскита ϵMnO_2 [40, 41]. Ранее, с помощью просвечивающей электронной микроскопии, марганецсодержащие гидроксиды железа были также выявлены в дерново-подзолистых почвах бассейнов р. Обвы в Карагайском рай-

оне и р. Ласьве, притока р. Камы, Краснокамского района Пермского края [41, 218], что свидетельствует о проявлении процесса оксидогенеза марганца в почвах Пермского края разного генезиса и его тесной связи с оксидогенезом железа.

Согласно Международной базе данных [301], минералогия железа глинистой фракции горизонтов с переменным окислительно-восстановительным режимом глеесолей представлена ферригидритом, иногда вместе с гетитом. В горизонтах с постоянными восстановительными условиями содержатся грин раст, иногда сидерит и вивианит. Описанная минералогия не является повсеместной. Как показали наши исследования, в глеевых горизонтах аллювиальных почв Среднего Предуралья (G, разр. 41, Gfn, разр.42, G, разр.51) преобладают Mn-ферроксигит и гетит.

3.2. Состояние минералов железа и марганца в почвах и конкрециях

Методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) был установлен фазовый состав оксидов и гидроксидов железа и марганца, но ПЭМ не позволяет оценить количественное соотношение (гидр)оксидов и их долю в составе валового железа. Для решения этой задачи были использованы химические методы экстракции соединений железа и марганца с применением стандартных вытяжек Мера-Джексона и Тамма. Количественное содержание Fe и Mn в вытяжках [63] определено атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ААС-3.

В почвах поймы р. Камы средневзвешенное по профилю содержание дитиониторастворимого ($Fe_{\text{дит}}$) и оксалаторастворимого железа ($Fe_{\text{окс}}$) выше, чем в почвах пойм рек Обвы и В. Мулянки (таблица 10). В серогумусовой оруденелой и серогумусовой глееватой почвах (разр. 41, 42, Кама) средневзвешенное содержание $Fe_{\text{дит}}$, по шкале Л.А. Кармановой [114], среднее – 2,06 и 2,15%, соответственно.

Таблица 10

Формы соединений железа в аллювиальных
почвах Среднего Предуралья

№ п/п	Горизонт, глубина, см		вал	(Fe ₂ O ₃) _{дит}		(Fe ₂ O ₃) _{окс}		Fe _{окс} / Fe _{дит}	Fe ₂ O ₃ (ОКРИСТ)	
				%	доля от вал.	%	доля от вал.		%	доля от дит.
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, разр.41, р. Кама										
1	Н	0-23	5,83	1,46	0,25	0,53	0,09	0,36	0,93	0,64
2	[Т]	23-89	5,74	1,39	0,24	1,30	0,23	0,94	0,09	0,06
3	G [~]	89-110	3,84	0,52	0,14	0,31	0,08	0,60	0,21	0,40
4	C1g [~]	110 и >	3,99	0,65	0,16	0,41	0,10	0,63	0,24	0,37
		M	5,02	1,08	0,21	0,81	0,15	0,72	0,28	0,28
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, р. Кама										
5	AУg	0-25	11,0	1,13	0,10	0,46	0,04	0,41	0,67	0,59
6	C1g [~]	25-31	10,2	3,82	0,37	2,08	0,20	0,54	1,74	0,46
7	Gfn [~]	31-55	7,48	2,52	0,34	1,41	0,19	0,56	1,11	0,44
8	C2g [~]	55 и >	7,43	2,49	0,34	1,42	0,19	0,57	1,07	0,43
		M	8,86	2,15	0,26	1,15	0,14	0,51	1,00	0,49
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, р. Кама										
9	AУ	0-20	6,43	1,75	0,27	0,64	0,10	0,37	1,11	0,63
10	C1[hh] [~]	20-30	8,01	2,81	0,35	1,89	0,24	0,67	0,92	0,33
11	C2[hh] [~]	30-53	7,11	1,95	0,27	1,72	0,24	0,88	0,23	0,12
12	C3 [~]	53-75	6,03	2,12	0,35	1,53	0,25	0,72	0,59	0,28
13	C4g [~]	75-100	6,87	2,08	0,30	1,09	0,16	0,52	0,99	0,48
14	C5g [~]	100-150	7,62	2,58	0,34	1,04	0,14	0,40	1,54	0,60
15	C6g [~]	150 и >	3,84	0,77	0,20	0,28	0,07	0,36	0,9	0,64
		M	6,67	2,06	0,30	1,12	0,16	0,53	0,95	0,47

Продолжение таблицы 10

№ п/п	Горизонт, глубина, см	вал	(Fe ₂ O ₃) _{диг}		(Fe ₂ O ₃) _{окс}		Fe _{окс} / Fe _{диг}	Fe ₂ O ₃ (ОКРИСТ)		
			%	доля от вал.	%	доля от вал.		%	доля от диг.	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, р. Обва										
16	Ayg	0-22	6,32	2,89	0,46	0,72	0,11	0,25	2,17	0,75
17	C1[hh]g [~]	22-37	6,19	1,83	0,30	0,66	0,11	0,36	1,17	0,64
18	C2g,fn [~]	37-75	6,00	1,11	0,19	0,60	0,10	0,54	0,51	0,46
19	G [~]	75 и >	6,64	1,37	0,21	0,59	0,09	0,43	0,78	0,57
		M	6,22	1,71	0,28	0,64	0,10	0,42	1,07	0,58
Аллювиальная серогумусовая типичная, разр. 52, р. Обва										
20	AУ	0-24	5,53	1,62	0,29	0,43	0,08	0,27	1,19	0,73
21	C1 [~]	24-47	5,50	1,72	0,31	0,41	0,07	0,24	1,31	0,76
22	C2 [~]	47-70	5,68	1,78	0,31	0,46	0,08	0,26	1,32	0,74
23	C3 [~]	70-101	5,88	2,01	0,34	0,49	0,08	0,24	1,52	0,76
24	C4 [~]	101 и >	5,88	2,04	0,35	0,48	0,08	0,24	1,56	0,76
		M	5,69	1,83	0,32	0,45	0,08	0,25	1,37	0,75
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 53, р. Обва										
25	наилок		6,08	2,44	0,40	0,51	0,08	0,21	1,93	0,79
26	W(AУ)	0-20	4,77	1,59	0,33	0,27	0,06	0,17	1,32	0,83
27	C3 [~]	36-52	4,04	2,41	0,60	0,23	0,06	0,10	2,18	0,90
28	C4 [~]	52-71	5,04	1,63	0,32	0,29	0,06	0,18	1,34	0,82
29	C7 [~]	90 и >	3,80	1,09	0,29	0,16	0,04	0,15	0,93	0,85
		M	4,37	1,60	0,37	0,23	0,05	0,15	1,37	0,85

Продолжение таблицы 10

№ п/п	Горизонт, глубина, см		вал	(Fe ₂ O ₃) _{диг}		(Fe ₂ O ₃) _{окс}		Fe _{окс} / Fe _{диг}	Fe ₂ O ₃ (ОКРИСТ)	
				%	доля от вал.	%	доля от вал.		%	доля от диг.
Аллювиальная иловато-перегноино-глеевая типичная, разр. 32, р. В. Мулянка										
30	Hmr	0-15	6,88	2,30	0,33	0,66	0,10	0,29	1,64	0,71
31	H	15-32	6,68	2,01	0,30	0,68	0,10	0,34	1,33	0,66
32	C1g [~]	32-49	6,71	1,65	0,25	0,17	0,03	0,10	1,48	0,90
33	C2g [~]	49-78	6,60	1,72	0,26	0,16	0,02	0,09	1,56	0,91
34	G [~]	78-92	5,66	1,33	0,23	0,14	0,03	0,11	1,19	0,89
35	[T1]	92-110	3,10	0,40	0,13	0,24	0,08	0,60	0,16	0,40
36	[T2]	110 и >	2,31	0,26	0,11	0,15	0,06	0,58	0,11	0,42
M			6,54	1,80	0,27	0,34	0,05	0,17	1,46	0,83
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, р. В. Мулянка										
37	Аура	0-29	6,96	1,88	0,27	0,81	0,12	0,43	1,07	0,57
38	C1 [~]	29-49	7,20	1,69	0,23	0,59	0,08	0,35	1,10	0,65
39	C2 [~]	49-75	7,41	1,85	0,25	0,73	0,10	0,39	1,12	0,61
40	C3 [~]	75-107	7,23	1,81	0,25	0,33	0,05	0,18	1,48	0,82
41	C4g [~]	107-137	7,32	1,97	0,27	0,91	0,12	0,46	1,06	0,54
42	C5g [~]	137 и >	7,23	2,21	0,31	0,75	0,10	0,34	1,46	0,66
M			7,22	1,90	0,26	0,62	0,09	0,36	1,22	0,64

Продолжение таблицы 10

№ п/п	Горизонт, глубина, см		вал	(Fe ₂ O ₃) _{ДИТ}		(Fe ₂ O ₃) _{ОКС}		Fe _{ОКС} / Fe _{ДИТ}	Fe ₂ O ₃ (ОКРИСТ)	
				%	ДОЛЯ ОТ вал.	%	ДОЛЯ ОТ вал.		%	ДОЛЯ ОТ ДИТ.
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 34, р. В. Мулянка										
43	W(AУ)	0-30	6,50	1,52	0,23	0,43	0,07	0,28	1,09	0,72
44	C1 [~]	30-41	5,78	1,32	0,23	0,30	0,05	0,23	1,02	0,77
45	C2 [~]	41-48	6,54	1,60	0,24	0,38	0,06	0,24	1,22	0,76
46	C3 [~]	48-76	6,65	1,55	0,23	0,16	0,02	0,10	1,39	0,90
47	C4 [~]	76-100	6,41	1,43	0,22	0,16	0,02	0,11	1,27	0,89
48	C5 [~]	100-108	6,23	1,45	0,23	0,17	0,03	0,12	1,28	0,88
49	C6 [~]	108-130	6,07	1,23	0,20	0,27	0,04	0,22	0,96	0,78
50	C7 [~]	130 и >	6,63	1,52	0,23	0,13	0,02	0,09	1,39	0,91
<i>M</i>			6,43	1,43	0,23	0,23	0,04	0,16	1,23	0,84

Примечание: *M* – средневзвешенное по профилю содержание

Одним из критериев степени проявления оксидогенеза является отношение дитиониторастворимого железа к валовому содержанию $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$. Степень выраженности оксидогенеза в почвах поймы р. Камы и В. Мулянки низкая – 0,21-0,30, что связано с высокой ожелезненностью этих почв и преимущественным нахождением железа в составе силикатов. В почвах поймы р. Обвы выраженность оксидогенеза оценивается как средняя, средневзвешенное отношение $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$ составляет 0,32-0,37. В связи с более высоким содержанием слабоупорядоченных гидроксидов Fe, критерий гидроксидогенеза в почвах поймы р. Камы высокий, и наибольших значений (0,60-0,94) достигает в погребенных торфяных горизонтах перегнойно-глеевых почв (разр. 32, В. Мулянка; разр. 41, Кама), что свидетельствует о накоплении в них аморфных соединений железа. Доля окристаллизованного железа ($Fe_{\text{ОКРИСТ}}$) от несиликатного ($Fe_{\text{ДИТ}}$) в изученных почвах, в основном, очень высокая. Наибольшее содержание данной формы железа отмечено в почвах пойм рек Обвы (0,58-0,85) и В. Мулянки (0,64-0,84).

Оксидогенез марганца наиболее сильно выражен в почвах поймы р. Камы и Обвы. Доля свободного марганца ($Mn_{\text{ДИТ}}$) от валового составляет 0,31-0,62 (таблица 11). В отдельных случаях (гор. АУg, разр. 51; гор. С3, разр. 53; наилок в прирусловой пойме р. Обва) отношение $Mn_{\text{ДИТ}}/Mn_{\text{ВАЛ}}$ достигает 80-94%, следовательно, степень развития оксидогенеза марганца превышает выраженность оксидогенеза железа. Различия в развитии оксидогенеза железа и марганца объясняются тем, что динамика Eh в аллювиальных почвах создает условия для преимущественного восстановления марганца, по сравнению с железом, и, как следствие, для более интенсивного формирования свободных форм $Mn_{\text{ДИТ}}$. Редуктогенез Mn начинается уже при Eh 400 мВ, тогда как для начала восстановления Fe необходимо снижение Eh до 200 мВ [214].

Таблица 11

Формы соединений марганца в аллювиальных почвах Среднего Предуралья

№ п/п	Горизонт, глубина, см	MnO ₂ вал, %	MnO ₂ дит		MnO ₂ окс		
			%	доля от вал.	%	доля от вал.	
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, разр.41, р. Кама							
1	H	0-23	0,18	0,08	0,43	0,03	0,18
2	[T]	23-89	0,17	0,04	0,26	0,04	0,25
3	G [~]	89-110	0,08	0,03	0,33	0,02	0,22
4	C1g [~]	110 и >	0,09	0,03	0,31	0,02	0,23
M			0,14	0,04	0,31	0,03	0,23
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, р. Кама							
5	A _Y g	0-25	0,58	0,47	0,63	0,34	0,59
6	C1g [~]	25-31	1,28	0,91	0,71	0,87	0,68
7	G _{fn} [~]	31-55	0,25	0,14	0,56	0,14	0,56
8	C2g [~]	55 и >	0,37	0,25	0,67	0,23	0,62
M			0,47	0,34	0,62	0,29	0,60
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, р. Кама							
9	A _Y	0-20	0,20	0,09	0,44	0,04	0,22
10	C1[hh] [~]	20-30	0,19	0,09	0,46	0,06	0,33
11	C2[hh] [~]	30-53	0,14	0,05	0,37	0,05	0,34
12	C3 [~]	53-75	0,16	0,07	0,42	0,08	0,47
13	C4g [~]	75-100	0,19	0,09	0,48	0,07	0,35
14	C5g [~]	100-150	0,39	0,24	0,61	0,16	0,42
15	C6g [~]	150 и >	0,09	0,03	0,39	0,03	0,31
M			0,23	0,12	0,48	0,09	0,36

Продолжение таблицы 11

№ п/п	Горизонт, глубина, см		MnO ₂ вал, %	MnO ₂ дит		MnO ₂ окс	
				%	доля от вал.	%	доля от вал.
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, р. Обва							
16	AYg	0-22	0,20	0,17	0,85	0,11	0,55
17	C1[hh]g [~]	22-37	0,14	0,09	0,64	0,07	0,50
18	C2g,fn [~]	37-75	0,07	0,03	0,43	0,02	0,29
19	G [~]	75 и >	0,08	0,04	0,50	0,02	0,25
M			0,12	0,08	0,58	0,05	0,38
Аллювиальная серогумусовая типичная, разр. 52, р. Обва							
20	AY	0-24	0,13	0,07	0,57	0,06	0,42
21	C1 [~]	24-47	0,12	0,07	0,54	0,05	0,38
22	C2 [~]	47-70	0,11	0,07	0,63	0,05	0,44
23	C3 [~]	70-101	0,13	0,08	0,65	0,06	0,47
24	C4 [~]	101 и >	0,19	0,12	0,67	0,10	0,56
M			0,13	0,08	0,61	0,06	0,45
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 53, р. Обва							
25	Наилок		0,30	0,29	0,94	0,17	0,55
26	W(AY)	0-20	0,14	0,08	0,52	0,06	0,41
27	C3 [~]	36-52	0,13	0,12	0,92	0,05	0,38
28	C4 [~]	52-71	0,15	0,08	0,53	0,06	0,37
29	C7 [~]	90 и >	0,10	0,05	0,50	0,04	0,35
M			0,13	0,08	0,60	0,05	0,37

Продолжение таблицы 11

№ п/п	Горизонт, глубина, см		MnO ₂ вал, %	MnO ₂ дит		MnO ₂ окс	
				%	доля от вал.	%	доля от вал.
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, разр. 32, р. В. Мулянка							
30	Hmr	0-15	0,22	0,15	0,68	0,12	0,54
31	H	15-32	0,11	0,04	0,36	0,04	0,36
32	C1g [~]	32-49	0,09	0,02	0,20	0,01	0,10
33	C2g [~]	49-78	0,08	0,01	0,13	0,00	0,0
34	G [~]	78-92	0,07	0,01	0,14	0,00	0,0
35	[T1]	92-110	0,07	0,01	0,14	0,00	0,0
36	[T2]	110 и >	0,04	0,01	0,25	0,00	0,0
<i>M</i>			<i>0,11</i>	<i>0,04</i>	<i>0,28</i>	<i>0,03</i>	<i>0,17</i>
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, р. В. Мулянка							
37	AУpa	0-29	0,21	0,10	0,48	0,10	0,48
38	C1 [~]	29-49	0,19	0,09	0,47	0,08	0,42
39	C2 [~]	49-75	0,21	0,10	0,48	0,10	0,48
40	C3 [~]	75-107	0,23	0,12	0,52	0,06	0,26
41	C4g [~]	107-137	0,19	0,09	0,47	0,10	0,53
42	C5g [~]	137 и >	0,11	0,03	0,27	0,02	0,18
<i>M</i>			<i>0,19</i>	<i>0,09</i>	<i>0,45</i>	<i>0,08</i>	<i>0,39</i>

Продолжение таблицы 11

№ п/п	Горизонт, глубина, см	MnO ₂ вал, %	MnO ₂ дит		MnO ₂ окс		
			%	доля от вал.	%	доля от вал.	
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 34, р. В. Мулянка							
43	W(AУ)	0-30	0,20	0,07	0,37	0,06	0,32
44	C1 [~]	30-41	0,16	0,05	0,31	0,03	0,19
45	C2 [~]	41-48	0,16	0,06	0,38	0,04	0,25
46	C3 [~]	48-76	0,16	0,05	0,31	0,02	0,13
47	C4 [~]	76-100	0,15	0,04	0,27	0,02	0,13
48	C5 [~]	100-108	0,22	0,08	0,36	0,02	0,09
49	C6 [~]	108-130	0,14	0,03	0,21	0,02	0,14
50	C7 [~]	130 и >	0,13	0,04	0,31	0,02	0,15
<i>M</i>			<i>0,16</i>	<i>0,05</i>	<i>0,31</i>	<i>0,03</i>	<i>0,18</i>

Примечание: *M* – средневзвешенное по профилю содержание

Восстановленные формы Fe и Mn участвуют в образовании их (гидр)оксидов в период снижения влажности, увеличения степени аэрации и развития окислительных процессов. Марганец, в результате частичного изоморфного замещения железа, находится, в основном, в Mn-ферроксигите.

Конкреции. Разная степень оксидогенеза железа и марганца наиболее сильно проявляется в новообразованиях почв таежно-лесной зоны различного генезиса. Для характеристики заболоченности почв используют отношение Fe:Mn в составе конкреций [42, 102, 163]. В почвах кларковое отношение Fe:Mn составляет 45 [33]. Отношение Fe:Mn в ортштейнах и роренштейнах изученных почв колеблется в очень широких пределах, что отражает, видимо, как региональные литологические особенности почв, так и отличие механизмов синтеза Fe-Mn-оксидов в ортштейнах и роренштейнах. В ортштейнах постагрогумусовой глееватой почвы (разр. 33, В. Мулянка) низкое отношение Fe:Mn (2,0) характеризует преимущественную аккумуляцию Mn (таблица 12).

В роренштейнах серогумусовой глеевой почвы (разр. 51, Обва) в большей степени концентрируется железо, отношение Fe:Mn достигает 219. Железистые трубочки формируются в восстановительных условиях вокруг корней, выделяющих в процессе роста органические кислоты (щавелевую кислоту и др.), которые растворяют минералы, содержащие железо и марганец. Продуктом химической реакции являются прочный оксалат Fe(II) и непрочный оксалат Mn(II), что объясняет формирование ожелезненных роренштейнов, практически лишенных марганца [82].

В конкрециях преобладают окристаллизованные соединения железа. Критерий гидроксидогенеза ($Fe_{\text{ОКС}}/Fe_{\text{ДИТ}}$) очень низкий – 0,1-0,3. Отношение $Fe_{\text{ДИТ}}$ к $Fe_{\text{ВАЛ}}$ в конкрециях умеренно низкое (0,21-0,45), а доля $Mn_{\text{ДИТ}}$ в массе $Mn_{\text{ВАЛ}}$ выше (0,21-0,99). Следовательно, в конкрециях, как и в почвах, оксидогенез марганца выражен сильнее.

Таблица 12

Формы соединений Fe и Mn в конкрециях аллювиальных почв Среднего Предуралья

№ п/п	Горизонт, глубина, см	Сорг, %	Fe ₂ O ₃ , %			Fe _{окс} /Fe _{дит}	MnO ₂ , %			Fe:Mn	
			вал	дит	окс		вал	дит	окс		
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама											
1	Gfn ~ 31-55	1,02	62,9	13,1	1,17	0,09	1,11	1,07	0,55	35	
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама											
2	C2[hh] ~ 30-53	0,66	20,9	8,6	0,82	0,10	3,88	3,18	0,58	30	
3	C3 ~ 53-75	0,63	17,3	7,8	1,11	0,14	3,36	2,36	0,57	3	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, Обва											
4	C2g,fn ~ 37-75	1,40	27,6	10,3	1,29	0,05	0,07	0,04	0,02	219	
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, В. Мулянка											
5	C2 ~ 49-75	0,84	16,9	3,9	1,19	0,30	4,69	1,00	0,57	2	
6	C3 ~ 75-107	0,83	18,3	7,4	1,18	0,16	5,23	3,43	0,57	2	
7	C4g ~ 107-137	0,92	22,4	9,1	1,23	0,13	6,56	4,75	0,59	2	
8	C5g ~ 137 и >	0,66	27,9	10,5	1,25	0,12	0,66	0,65	0,32	23	

По-видимому, в субаквальных условиях, при низком Eh происходит интенсивное образование железистых конкреций (как ортштейнов, так и роренштейнов). При различной степени влажности и преобладании окислительных условий над восстановительными формируются конкреции с высоким содержанием марганца.

Содержание железа и марганца, извлекаемых из конкреций аллювиальных почв вытяжками Мера-Джексона и Тамма, в несколько раз выше, чем во вмещающей почве. Для оценки степени развития оксидогенеза железа и марганца в конкрециях предлагается использовать новый показатель – *интенсивность конкреционного оксидогенеза (I)* железа и марганца:

$$I_{\text{Fe}} = \frac{\text{Fe}_{\text{КОНКР}}}{\text{Fe}_{\text{ПОЧВ}}}, \quad (4)$$

где $\text{Fe}_{\text{КОНКР}}$ – содержание $\text{Fe}_{\text{ОКС}}$ ($\text{Fe}_{\text{ДИТ}}$) в конкрециях, $\text{Fe}_{\text{ПОЧВ}}$ – содержание $\text{Fe}_{\text{ОКС}}$ ($\text{Fe}_{\text{ДИТ}}$) во вмещающей почве

$$I_{\text{Mn}} = \frac{\text{Mn}_{\text{КОНКР}}}{\text{Mn}_{\text{ПОЧВ}}}, \quad (5)$$

где $\text{Mn}_{\text{КОНКР}}$ – содержание $\text{Mn}_{\text{ОКС}}$ ($\text{Mn}_{\text{ДИТ}}$) в конкрециях, $\text{Mn}_{\text{ПОЧВ}}$ – содержание $\text{Mn}_{\text{ОКС}}$ ($\text{Mn}_{\text{ДИТ}}$) во вмещающей почве.

Интенсивность конкреционного оксидогенеза проявляется в большей мере для дитиониторастворимых форм железа и марганца и составляет, соответственно, 4,8 ($\text{lim} = 2-9$) и 27,4 ($\text{lim} = 1-64$) (рисунок 20). В конкрециях, формирующихся в оруденелых горизонтах Gfn (разр.42, Кама) и C2g,fn (разр. 51, Обва), концентрируются преимущественно соединения $\text{Fe}_{\text{ДИТ}}$ ($I_{\text{Fe}} \rightarrow \text{max}$). В конкрециях гор. C2[hh] (разр. 43, Кама) и гор. C4g (разр. 33, Мулянка) накапливается больше марганца ($\text{Mn}_{\text{ДИТ}}$). Интенсивность конкреционного оксидогенеза марганца превышает интенсивность конкреционного оксидогенеза железа по содержанию оксалаторстворимых форм в среднем в 4,6 раза, а по дитиониторастворимым формам – в 5,7 раз.

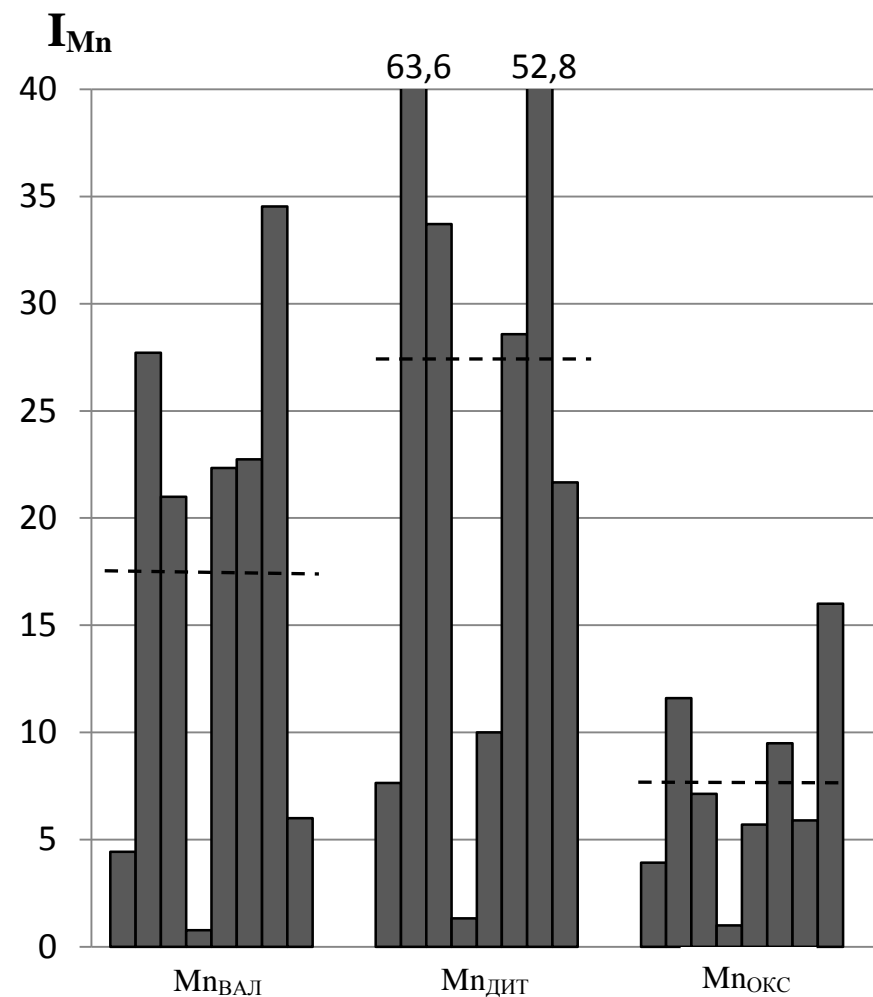
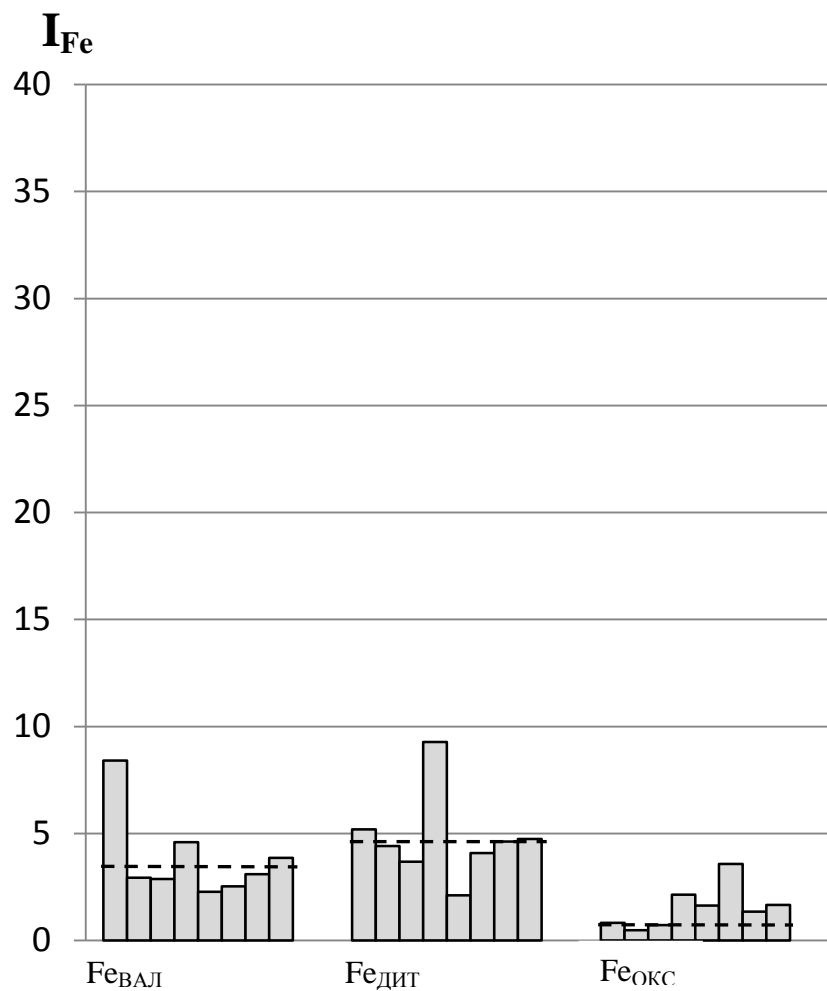


Рисунок 20. Интенсивность конкреционного оксидогенеза Fe (I_{Fe}) и Mn (I_{Mn}) в аллювиальных почвах Среднего Предуралья.

1-8 – номера образцов конкреций (по данным таблицы 12)

Таким образом, в результате оксидогенеза в конкрециях более интенсивно аккумулируется марганец, чем железо. Конкреции являются локальными центрами оксидогенеза железа и марганца.

3.3. Магнитная восприимчивость почв и конкреций

Магнитная восприимчивость – одна из наиболее просто определяемых физических характеристик почв. Это свойство почвы хорошо характеризует особенности оксидогенеза железа. В настоящее время накоплен достаточно большой материал по использованию этого параметра для оценки плодородия почв и диагностики почвообразовательных процессов [5, 26, 29, 37, 45, 103, 106, 122, 222]. Величина магнитной восприимчивости используется для выявления загрязнения почв ТМ [142, 230, 242]. Исследованиями В.Ф. Бабанина [14], установлено, что магнитная восприимчивость аллювиальных почв поймы р. Оби закономерно уменьшается от прирусловой к притеррасной части поймы, что обусловлено усилением глеевых процессов в этом направлении и, как следствие, снижением содержания фракций магнитных минералов.

По величине магнитной восприимчивости оценивается *интенсивность оксидогенеза* магнитных оксидов железа [152]. Рассмотрим закономерности изменения удельной магнитной восприимчивости (χ) в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, определенной на каппа-бридже KLY-2.

В *пойме р. Камы* магнитная восприимчивость почв изменяется от 0,1 до $34 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, при этом наблюдается закономерное снижение данного показателя как в ряду почв при усилении гидроморфизма, так и по профилю от поверхностных горизонтов к глубинным слоям аллювия [48] (рисунок 21).

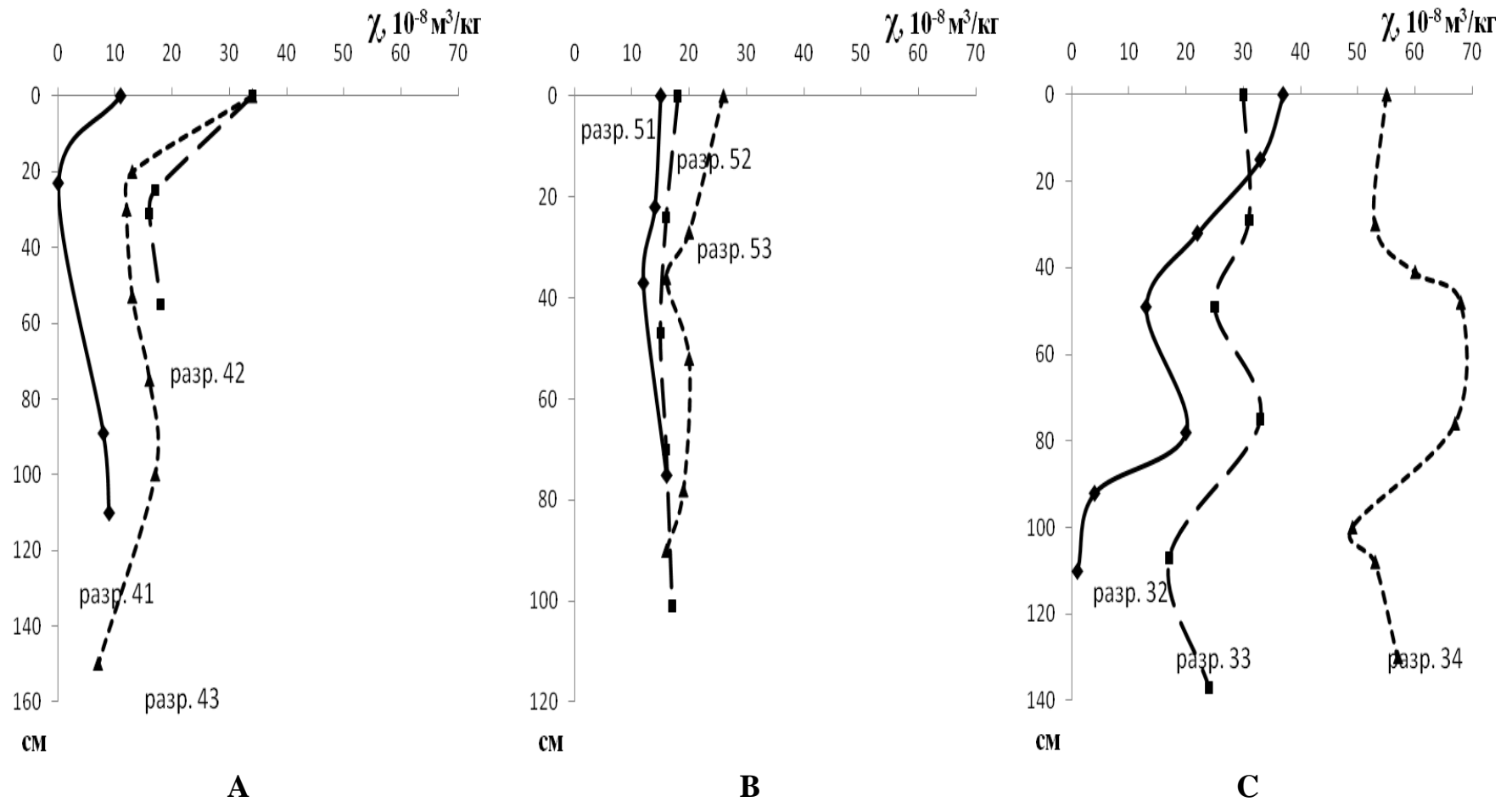


Рисунок 21. Удельная магнитная восприимчивость аллювиальных почв пойм рек Среднего Предуралья:
 А – Кама, В – Обва, С – Верхняя Мулянка

В перегнойно-глеевой почве (разр. 41), в связи с диамагнитностью органического вещества и разрушением ферромагнитных соединений в условиях избыточного увлажнения, восприимчивость очень низкая и составляет в перегнойном горизонте $11 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а в погребенном торфяном горизонте снижается до $0,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

В серогумусовой глееватой почве (разр. 43) в горизонте АУ восприимчивость составляет $34 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, в гор. С1[~] магнитная восприимчивость ниже $13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Концентрация магнитных соединений в поверхностных горизонтах аллювиальных почв поймы р. Камы происходит в результате развития дернового процесса почвообразования и, отчасти, под влиянием техногенного загрязнения почв магнетиками от выбросов ООО «Мотовилихинские заводы» и других промышленных предприятий г. Перми.

Величина магнитной восприимчивости аллювиальных почв *поймы р. Обвы* варьирует от $12 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ в горизонте С2g,fn[~] (разр. 51) до $26 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ в АУ (разр. 53). Внутрипрофильное изменение магнитной восприимчивости слабое. Различия между почвами на разных элементах поймы незначительны (рисунок 21). Удельная магнитная восприимчивость наилка в почвах прирусловой поймы низкая ($21 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) и свидетельствует о размыве и переотложении слабомагнитных пород в долине р. Обвы.

Магнитная восприимчивость почв *поймы р. В. Мулянки* характеризуется большим разбросом значений. Здесь наблюдается заметное варьирование восприимчивости как по профилю, так и между разными типами аллювиальных почв. Профиль иловато-перегнойно-глеевой почвы (разр. 32) сильно дифференцирован по содержанию магнитных соединений: в верхних перегнойных горизонтах $\chi = 33-37 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$; в минеральных оглеенных горизонтах магнитная восприимчивость снижается до $13-22 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рисунок 21). Восприим-

чивость погребенных торфяных горизонтов составляет всего $1-4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. В почве центральной поймы (разр. 33) восприимчивость несколько выше, чем в почве притеррасной поймы. Максимальная магнитная восприимчивость наблюдается в слоистой почве прирусловой поймы: в гумусовом горизонте – $55 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, в супесчаном аллювии С3[~] и С4[~] – $67-68 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Вероятно, высокую величину магнитной восприимчивости почв поймы р. В. Мулянки обеспечивает титаносодержащий гематит, обнаруженный просвечивающей электронной микроскопией.

Повышенная магнитная восприимчивость дерново-подзолистых супесчаных почв на древнеаллювиальных отложениях р. Камы связана с нахождением литогенного магнетита во фракции песка и крупной пыли [218]. В крупных фракциях мелкозема почв также сосредоточен техногенный магнетит различного генезиса [5, 106, 207, 282]. Кроме того, почвы поймы р. В. Мулянки испытывают значительную техногенную нагрузку, в том числе и за счет воздействия федеральной автомобильной дороги «Пермь-Екатеринбург» и Транссибирской железнодорожной магистрали, которые пересекают пойму этой реки выше по течению от изученной трансекты. Очевидно, что техногенное воздействие на окружающую среду в долине р. В. Мулянки приводит к увеличению магнитной восприимчивости аллювиальных почв.

В результате корреляционного анализа была установлена положительная связь величины магнитной восприимчивости изученных аллювиальных почв Среднего Предуралья с содержанием сильноокристаллизованных форм железа ($\text{Fe}_{\text{ОКРИСТ}}$) ($r = 0,48$). Аморфные формы железа обладают слабой магнитной упорядоченностью, поэтому увеличение содержания оксалаторастворимого железа в почвах сопровождается снижением их магнитной восприимчивости ($r = -0,69$) (таблица 13).

Сведения о магнитной восприимчивости новообразова-

ний почв таежно-лесной зоны, по сравнению с восприимчивостью почв, ограничены [16, 56, 155, 203]. Магнитная восприимчивость конкреций является результатом суммарного действия оксидогенеза железа и ожелезненности почвообразующей породы.

Таблица 13

Коэффициенты парной корреляции (r) между удельной магнитной восприимчивостью и формами соединений железа в аллювиальных почвах Среднего Предуралья

	Fe _{ВАЛ}	Fe _{ДИТ}	Fe _{ОКС}	Fe _{ОКРИСТ}	Fe _{ДИТ} / Fe _{ВАЛ}	Fe _{ОКС} / Fe _{ДИТ}
Кама, n = 15	0,62¹	0,20	-0,09	0,48¹	-0,02	-0,54¹
Обва, n = 12	-0,65¹	0,09	-0,69¹	0,31	0,37	-0,64¹
Верхняя Мулянка, n = 19	-0,40	-0,51¹	-0,44	-0,17	-0,47¹	-0,36

Примечание: ¹ – достоверно при P = 0,95

Минимальная магнитная восприимчивость конкреций характерна для глеевых горизонтов, где, в результате периодического снижения редокс-потенциала до критических значений, происходит разрушение магнитных оксидов железа (таблица 14).

Магнитная восприимчивость конкреций несколько выше, чем вмещающей почвы. Для выявления особенностей конкрециеобразования был использован коэффициент магнитности K_χ , который показывает интенсивность накопления в составе конкреций ферромагнитных соединений железа:

$$K_\chi = \frac{\chi_k}{\chi_n}, \quad (6)$$

где χ_k и χ_n – удельная магнитная восприимчивость конкреций и вмещающей их почвы.

Коэффициент магнитности K_χ конкреций аллювиальных почв Среднего Предуралья низкий и составляет всего 1,1-2,2. В роренштейнах K_χ несколько выше, чем в ортштейнах. Сле-

довательно, конкреционный оксидогенез железа проявляется в увеличении магнитной восприимчивости новообразований, что связано с некоторым накоплением в их составе магнитоупорядоченных окристаллизованных форм железа. Для сравнения отметим, что коэффициент магнитности в конкрециях дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья выше и достигает 3,1 [218].

Таблица 14

Магнитная восприимчивость (χ)
и коэффициенты магнитности ($K\chi$) конкреций аллювиальных почв Среднего Предуралья

Горизонт, глубина, см	Тип конкреций	$10^{-8}\chi_{30}^3/\text{кг}$	$K\chi$
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама			
Gfn [~] 31-55	О	27	1,7
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама			
C2[hh] [~] 30-53	Р	26	2,2
C3 [~] 53-75	Р	24	1,8
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, р. 51, Обва			
C2g,fn [~] 37-75	Р	18	1,5
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, р. 33, В. Мулянка			
C2 [~] 49-75	О	33	1,3
C3 [~] 75-107	О	35	1,1
C4g [~] 107-137	О	28	1,7
C5g [~] 137 и >	О, Р	51	2,1

Примечание: О – ортштейны, Р – роренштейны

Таким образом, магнитная восприимчивость аллювиальных почв Среднего Предуралья характеризуется, по шкале Ю.Н. Водяницкого [40], как очень низкая и низкая, так как в составе минералов железа преобладают слабомагнитные гетит, ферроксигит, сидерит или среднемагнитный гематит. Гидроксидогенез железа в аллювиальных почвах Среднего Предуралья проявляется в снижении магнитной восприимчивости оглеенных горизонтов. Педогенный оксидогенез маг-

нетита и других ферромагнитных оксидов железа выражен слабо. Магнитная восприимчивость железо-марганцевых конкреций и коэффициенты магнитности низкие.

Техногенный оксидогенез железа, в районах с напряженной и удовлетворительной экологической обстановкой, сопровождается увеличением магнитной восприимчивости почв пойм рек Камы и В. Мулянки, по сравнению с почвами на экологически благополучной территории поймы р. Обвы.

ГЛАВА 4. ОКСИДОГЕНЕЗ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГИДРОМОРФИЗМ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПОЙМ РЕК КАМЫ, ОБВЫ И ВЕРХНЕЙ МУЛЯНКИ

4.1. Оптические свойства и гидроморфизм почв

Цвет является одним из важных признаков, используемых при классификации почв. В России, при диагностике почв, проводится словесное описание цвета почвенных горизонтов. Например, в Классификации и диагностике... [118], индекс *g* придается горизонту с пятнами разных тонов: как сизых – холодного тона, так и охристо-ржавых – теплого. При этом соотношение площади пятен холодного и теплого тонов не регламентируется, что осложняет проведение идентификации оглеения. В Международной базе почвенных данных [300] цвет оценивается по шкале Манселла, с использованием альбома цветовых эталонов, то есть визуально, а, следовательно, субъективно. Со временем наклейки в альбоме выгорают, пачкаются, что также снижает точность оценки окраски почвенных горизонтов.

Количественное определение цвета почв, диагностику оглеения и других почвенных процессов проводят, в основном, спектрофотометрически [112, 113, 151]. В последнее время для численной оценки цвета почв за рубежом и в России используют систему CIE- $L^*a^*b^*$ [46, 56, 92, 214, 218, 267]. Система CIE- $L^*a^*b^*$ в декартовых координатах количественно отражает вклад четырех цветов: ось абсцисс характеризует степень красноты ($+a^*$) и зелености ($-a^*$), а ось ординат – степень желтизны ($+b^*$) и синевы ($-b^*$). Точка в начале координат обозначает серый цветовой тон. Третья ось, перпендикулярная плоскости $a^* \sim b^*$, определяет светлоту почвы L^* от 0 до 100 (приложение 7).

(Гидр)оксиды Fe, отражая цвет неравномерно по спектру, формируют цветовые особенности почв. По цветовым характеристикам в системе CIE- $L^*a^*b^*$ среди минералов Fe

гематит выделяется значительной краснотой ($a^* = 16,4$), гетит – желтизной ($b^* = 43,8$). Магнетит характеризуется низкими значениями красноты, светлоты и желтизны (приложение 8). По величине цветового тона шкалы Манселла основным красным пигментом в почвах является гематит, вторым по силе пигментом служит ферроксигит, затем ферригидрит и гетит [291]. В то же время, в чистом виде красный цвет почвы встречается редко. В большей степени проявляются различные тона бурого цвета, которые определяются соотношением в почве гематита и гетита, и характером их связи с глинистыми минералами. Н.А. Михайлова [151] предполагает, что свободные частицы (гидр)оксидов железа придают почве красный и желтый цвета, а адсорбированные на поверхности глинистых минералов – бурый. При этом вклад различных глинистых минералов в цвет почв изучен недостаточно.

Спектрофотометрическая характеристика почв была получена на спектроколориметре "Пульсар" с интегральной сферой на кафедре материаловедения Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова. Прибор определяет коэффициенты отражения на 24 фиксированных длинах волн в видимой части спектра 380-720 нм за одну вспышку импульсной лампы. Образец почвы, растертой и просеянной через сито с \varnothing 1 мм, массой 8-10 г насыпают в кювету и уплотняют. Затем кювету вставляют в прибор, и на нее направляют луч лампы. После каждой вспышки лампы кювету немного сдвигают для того, чтобы при последующей вспышке луч попадал на другой участок образца. В результате прибор снимает спектральную кривую с трех участков образца, а затем компьютер суммирует и усредняет полученную информацию о цвете почвы. Дальнейшая свертка информации о полной спектральной кривой с помощью компьютера выявляет вклад четырех основных цветов и светлоты в координатах системы CIE- $L^*a^*b^*$ [296].

Показатель краснотности почвы $R(Lab)$ по V. Barron [267] рассчитан в координатах L^* , a^* , b^* :

$$R(Lab) = \frac{a \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot 10^{10}}{b \cdot L^6}, \quad (7)$$

где a^* – краснота, b^* – желтизна, L^* – светлота.

Ю.Н. Водяницким [46] предложен видоизмененный критерий краснотности $R(ab)$ за счет исключения из него переменной координаты светлоты L , которая лимитирует применение данного показателя для сильногумусированных почв. Модифицированный показатель краснотности рассчитан по формуле:

$$R(ab) = a \cdot (a^2 + b^2)^{1/2} \cdot 7b. \quad (8)$$

Затем подсчитано содержание в почве условно-красного пигмента – гематита в %:

$$Hem_{усл} = [R(ab) - 0.54] / 1.97. \quad (9)$$

Результаты исследования цвета аллювиальных почв Среднего Предуралья показали, что содержание и соотношение (гидр)оксидов железа в почвах влияют, прежде всего, на оптические показатели: степень красноты a^* , индекс краснотности $R(Lab)$ и содержание $Hem_{усл}$. Наиболее высокими значениями красноты a^* обладают серогумусовые глееватые почвы, где ее величина составляет в среднем 5,8-8,2 (разр. 43, Кама, разр. 52, 53, Обва, разр. 33, Мулянка) (таблица 15). По данным просвечивающей электронной микроскопии, именно в этих почвах пойма среди оксидов железа преобладает гематит и Mn-фероксигит (таблица 19). Степень красноты a^* глеевых горизонтов аллювиальных почв варьирует в широких пределах – от 2,6 (гор. G, разр. 41) до 7,0 (гор. Gfn, разр. 42). В аллювиальных слоистых почвах краснота a^* несколько ниже – 4,9-7,5 (разр. 34, 53). Различия по величине средне-профильного значения a^* между почвами пойма разных рек незначительны.

Таблица 15

Оптические свойства аллювиальных почв
Среднего Предуралья

Горизонт, глубина, см	Цвет (по шкале Росгипрозем)	L^*	a^*	b^*	a/b	$R(Lab)$	$Hem_{усл}$	
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная тяжелосуглинистая, разр.41, Кама								
Н	0-23	Буровато-черный	41,8	4,8	13,8	0,35	9,5	0,09
[Т]	23-89	Очень темно-бурый	36,7	5,4	9,9	0,55	25,2	0,17
G [~]	89-110	Темно-оливково-серый	44,5	2,6	9,9	0,26	3,5	0,00
C1g [~]	110 и >	Темно-оливково-бурый*	54,7	2,9	15,9	0,18	1,1	0,00
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая легкоглинистая, разр. 42, Кама								
AУg	0-25	Буровато-серый	47,6	6,0	19,2	0,31	5,4	0,18
C1g [~]	25-31	Темно-бурый*	49,0	6,4	18,6	0,34	4,9	0,22
Gfn [~]	31-55	Светло-буровато-серый	53,5	7,0	21,4	0,33	3,1	0,26
C2g [~]	55 и >	Охристо-бурый*	53,3	7,1	20,3	0,35	3,3	0,27
Аллювиальная серогумусовая глееватая легкоглинистая, разр. 43, Кама								
AУ	0-20	Буровато-серый	45,2	5,3	14,5	0,37	6,6	0,14
C1[hh] [~]	20-30	Буровато-серый	47,1	4,5	12,0	0,38	4,4	0,08
C2[hh] [~]	30-53	Очень темно-серый	56,8	4,9	16,5	0,30	1,5	0,10
C3 [~]	53-75	Бурый	49,3	7,4	19,0	0,39	5,5	0,30
C4g [~]	75-100	Бурый*	51,9	7,2	17,8	0,40	4,0	0,29
C5g [~]	100-150	Охристо-бурый*	52,5	8,0	21,2	0,38	4,1	0,35
C6g [~]	150 и >	Бурый*	55,1	5,8	16,1	0,36	2,2	0,17

Продолжение таблицы 15

Горизонт, глубина, см	Цвет (по шкале Росгипрозем)	L^*	a^*	b^*	a/b	$R(Lab)$	$Hem_{усл}$	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, Обва								
AYg	0-22	Очень темно-серый	50,0	6,8	18,9	0,36	4,6	0,25
C1[hh]g [~]	22-37	Бурый*	48,8	6,5	17,7	0,37	5,1	0,23
C2g,fn [~]	37-75	Бурый*	57,5	3,9	16,0	0,24	1,1	0,02
G [~]	75 и >	Зеленовато-серый	56,7	3,6	15,9	0,23	1,1	0,00
Аллювиальная серогумусовая типичная, разр. 52, Обва								
AY	0-24	Буровато-серый	47,4	7,3	18,0	0,41	7,0	0,30
C1 [~]	24-47	Бурый	51,0	8,2	20,1	0,41	5,0	0,37
C2 [~]	47-70	Темно-бурый	52,6	8,0	21,0	0,38	4,0	0,35
C3 [~]	70-101	Бурый	51,2	8,2	20,8	0,39	4,9	0,37
C4 [~]	101 и >	Темно-бурый	51,3	7,9	20,2	0,39	4,7	0,34
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 53, Обва								
наилок		Буровато-серый	49,3	5,3	17,0	0,31	3,9	0,13
W(AY)	0-20	Буровато-серый	48,3	7,0	18,3	0,38	5,9	0,27
C2 [~]	27-36	Бурый	47,8	7,4	18,7	0,40	6,7	0,30
C3 [~]	36-52	Бурый	48,1	7,5	18,5	0,41	6,5	0,31
C4 [~]	52-71	Бурый	48,1	7,4	18,4	0,40	6,4	0,30
C6 [~]	78-90	Бурый	48,0	7,4	18,6	0,40	6,5	0,30
C7 [~]	90 и >	Бурый	46,2	7,1	17,1	0,42	7,9	0,28
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, разр. 32, В. Мулянка								
Hmr	0-15	Очень темно-бурый	38,3	4,6	9,4	0,49	16,2	0,10
H	15-32	Буровато-черный	40,2	5,0	10,7	0,47	13,1	0,13

Продолжение таблицы 15

Горизонт, глубина, см	Цвет (по шкале Росгипрозем)	L^*	a^*	b^*	a/b	$R(Lab)$	$Hem_{усл}$
C1g [~] 32-49	Темно-бурый*	48,8	6,2	13,9	0,45	5,0	0,22
C2g [~] 49-78	Буровато-серый*	48,5	6,5	14,3	0,45	5,5	0,24
G [~] 78-92	Зеленовато-сизый	45,8	5,0	11,4	0,44	5,9	0,12
[T1] 92-110	Черный	26,0	4,7	2,1	2,24	-	0,56
[T2] 110 и >	Очень темно-бурый	25,6	6,4	4,6	1,39	-	0,52
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, В. Мулянка							
AУра 0-29	Интенсивно-бурый	38,8	3,8	10,5	0,36	11,8	0,02
C1 [~] 29-49	Охристо-бурый	47,8	6,0	16,4	0,37	5,4	0,19
C2 [~] 49-75	Буровато-серый	48,4	6,4	17,6	0,36	5,3	0,22
C3 [~] 75-107	Буровато-серый	47,0	6,4	17,4	0,37	6,3	0,22
C4g [~] 107-137	Темно-охристо-бурый*	50,6	5,8	17,0	0,34	3,7	0,17
C5g [~] 137 и >	Темно-охристо-бурый*	50,7	8,0	19,0	0,42	5,1	0,36
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 34, В. Мулянка							
W(AУ) 0-30	Буровато-серый	42,3	4,9	13,7	0,36	9,1	0,10
C1 [~] 30-41	Бурый	45,8	5,3	12,2	0,43	6,3	0,14
C2 [~] 41-48	Темно-бурый	43,6	5,0	14,7	0,34	7,7	0,11
C3 [~] 48-76	Бурый	42,9	5,1	14,3	0,36	8,7	0,12
C4 [~] 76-100	Бурый	44,9	5,7	12,5	0,46	7,7	0,18
C5 [~] 100-108	Серый, темно-охристо-бурый	48,8	5,0	14,3	0,35	3,9	0,11
C6 [~] 108-130	Серовато-зеленый	46,3	4,6	14,0	0,33	4,9	0,08
C7 [~] 130 и >	Бурый, охристо-бурый	43,6	5,8	13,0	0,45	9,3	0,19

Примечание: * - основной цвет почвы характеризуется сизоватым оттенком, «↔» - не определяли

Среднепрофильный индекс краснотности $R(Lab)$, по V. Barron [267], в несколько раз ниже, чем в почвах на элювии краснотных гематитсодержащих верхнепермских глин Среднего Предуралья [56]. Более низкая краснотность аллювиальных почв связана с частичным разрушением гематита в восстановительные фазы осадконакопления и пойменного почвообразования. В оглеенных типах почв (разр. 32, 41, 42, 43, 51) средневзвешенный профильный индекс краснотности ниже, чем в неоглеенных (разр. 33, 34, 52, 53) (таблица 15). Индекс краснотности $R(Lab)$ за счет преобладания гематита в почвах поймы р. В. Мулянки в два раза выше, чем в пойме р. Камы (рисунок 22).

Зависимость окраски от состава почвы традиционно изучают с применением корреляционного анализа связи цвета с главными пигментами [112, 113, 151]. При учете пигментирующего действия минералов железа неизбежно приходится сталкиваться с проблемой точности анализов.

Если химическое определение свободных соединений железа ведется на количественном уровне (методом Мера-Джексона), то состав Fe-минералов (установленный, в частности, методом просвечивающей электронной микроскопии) – только на качественном. Поэтому в статистических расчетах были использованы данные химического содержания Fe-минералов.

В изученных аллювиальных почвах коэффициент корреляции r между содержанием свободных соединений железа ($Fe_{\text{дит}}$) и значением условного красного пигмента достоверен: коэффициент корреляции варьирует от 0,30 до 0,58 (таблица 16).

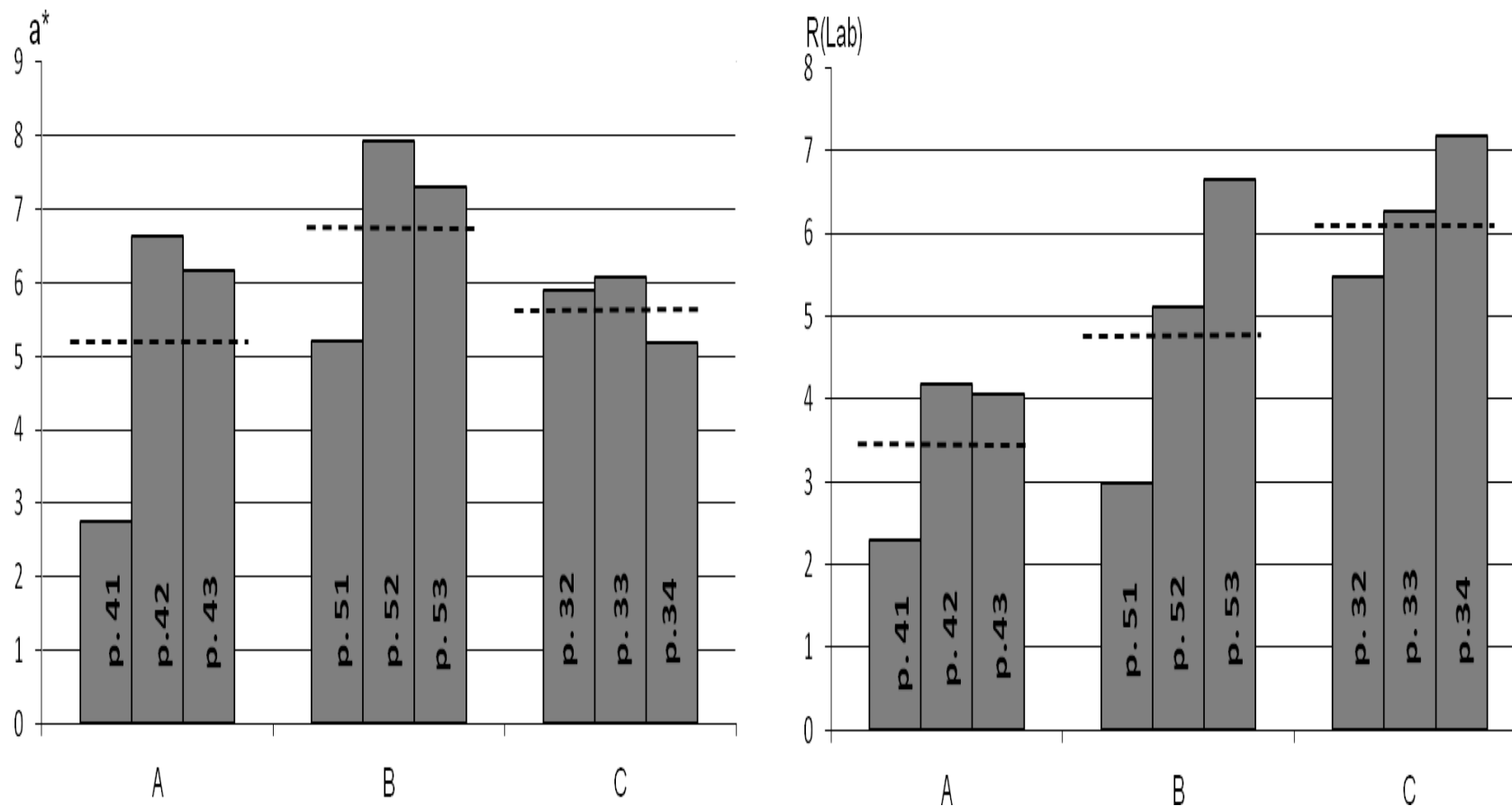


Рисунок 22. Среднепрофильные показатели цвета минеральных горизонтов почв в системе СИЕ- $L^*a^*b^*$: степень красноты a^* и индекс красноцветности $R(Lab)$ аллювиальных почв пойм рек Кама (А), Обва (В) и Мулянка (С). Р. 32-53 – номера разрезов

Таблица 16

Коэффициенты парной корреляции (r)
по Спирмену между показателями цвета почв
и показателями оксидогенеза в минеральных горизонтах
аллювиальных почв Среднего Предуралья, $n = 43$

	Fe _{ДИТ}	Fe _{ОКС}	Fe _{ОКРИСТ}	Fe _{ОКС} /Fe _{ДИТ}	Fe _{ДИТ} /Fe _{ВАЛ}
a^*	0,48¹	0,08	0,54¹	-0,27	0,59¹
$R(Lab)$	0,02	-0,31¹	0,02	-0,53¹	0,04
$Hem_{усл}$	0,45¹	0,30¹	0,54¹	0,34¹	0,58¹

Примечание: ¹ – достоверно при $P = 0.95$

Для почв водоразделов Пермского края аналогичная связь не проявляется [56, 218]. В аллювиальных почвах существует тесная положительная корреляция между краснотой почвы a^* , содержанием свободного железа (Fe_{ДИТ}) и интенсивностью оксидогенеза (Fe_{ДИТ}/Fe_{ВАЛ}), что подтверждает влияние (гидр)оксидов железа на цвет почв, особенно, гематита. Возрастание количества аморфных слабоокристаллизованных форм железа достоверно понижает индекс красноцветности $R(Lab)$, так как в их составе преобладают гидроксиды с низкой краснотой a^* .

Определение цвета почв в системе CIE-L*a*b* выявило противоречие полевой идентификации окраски глеевых горизонтов с результатами лабораторного определения цвета по показателям a^* и $R(Lab)$. Глеевые и глееватые горизонты при морфологическом описании визуально с помощью стандартов цвета характеризовались сизым цветом или сизоватым оттенком основного цветового тона, но в лабораторных условиях часть образцов (гор. G, разр. 32; гор. С6, разр.34; гор. Gfn, разр. 42) имела относительно высокие значения красноты и индекса красноцветности. Причина противоречия заключается в следующем: во-первых, после высушивания оглеенных почв их цвет часто изменяется; во-вторых, в некоторых почвах, после измельчения агрегатов, доля сизых кулан на их поверхности снижается за счет бурой внутриагре-

гатной массы, что уменьшает насыщенность почвы холодным тоном.

Для увеличения колористического эффекта за счет устранения пигментирующей роли органического вещества была использована 2-кратная обработка почвы 50%-ным раствором H_2O_2 . Первый раз почва обработана при комнатной температуре, второй раз – на водяной бане.

В качестве дополнительного цветового критерия диагностики оглеения в аллювиальных почвах был использован показатель *Mel* – степень меланизации органического вещества. Степень меланизации (черноты) органического вещества оценена через показатель *Mel* по формуле:

$$Mel = \frac{100 - L^*}{1 + \log C_{орг}}, \quad (10)$$

где L^* – светлота, $C_{орг}$ – содержание органического углерода, %.

Цвет описывался одновременно двумя показателями a^* и *Mel* (рисунок 23). Однако, оценка цвета почв в координатах $a^* \sim Mel$ оказалась малоэффективной, так как расположение точек на рисунке 23, характеризующее цвет оглеенных и неоглеенных горизонтов аллювиальных почв, не различается. Э.Ф. Сатаев [218] и В.Ю. Гилев [56] для диагностики в системе CIE- $L^*a^*b^*$ глеевых горизонтов зональных почв Среднего Предуралья использовали критические значения $a^* < 3,0$, $Hem_{усл} < 0,1$. Д.Н. Егоров [92] предложил оценивать степень оглеения дерново-подзолистых почв по отношению a^*/b^* для глеевых почв 0,30, для оглеенных –0,35. Однако, эти показатели не позволяют разделить оглеенные и неоглеенные горизонты аллювиальных почв Среднего Предуралья (таблица 15).

Следовательно, ни отдельно взятые цветовые признаки, ни их сочетание не обеспечивают надежного инструментального разделения в лабораторных условиях неоглеенных и оглеенных почвенных горизонтов. В связи с этим были разработаны дополнительные диагностические критерии оценки

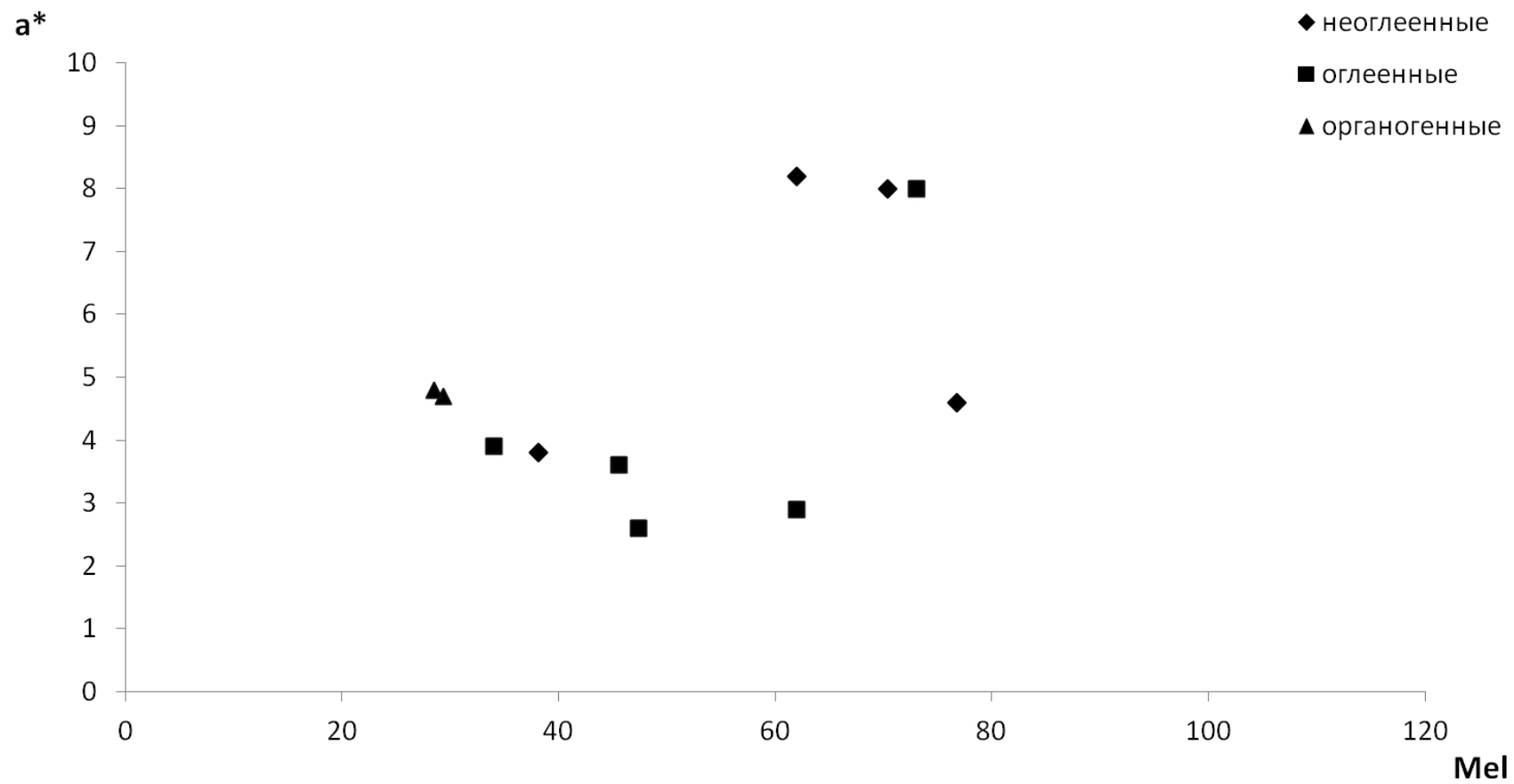


Рисунок 23. Соотношение красноты a^* и меланизации Mel в аллювиальных почвах Среднего Предуралья разной степени гидроморфизма

цвета аллювиальных почв, отражающие формы развития оксидогенеза железа в почвах разной степени гидроморфизма: неоглеенные, оглеенные, а также органогенные. Для этого использовалась обработка почвы H_2O_2 .

Новые оптические критерии были установлены на выборке образцов аллювиальных почв разной степени гидроморфизма. В таблице 17 приведены показатели цвета, полученные до и после обработки почв H_2O_2 . После обработки почвы перекисью водорода применили повторное определение оптических показателей L^* , a^* и b^* . По их изменению рассчитали прирост светлоты ΔL и прирост красноты Δa^* .

Прирост светлоты (ΔL^*) зависит от содержания и окисления органического вещества и определяется по формуле:

$$\Delta L^* = L_{H_2O_2}^* - L_{исх}^*, \quad (11)$$

где $L_{H_2O_2}^*$ - светлота образца почвы после окисления H_2O_2 , $L_{исх}^*$ - светлота исходного образца почвы.

По приросту светлоты ΔL^* было рассчитано удельное осветление почвы (*Light*):

$$Light = \frac{\Delta L^*}{1 + \log C_{ОРГ}}, \quad (12)$$

где $C_{ОРГ}$ – содержание органического вещества в исходном образце почвы, %.

По величине приращения красноты почвы Δa^* после окисления органического вещества можно установить тип доминирующего пигмента:

$$\Delta a^* = a_{H_2O_2}^* - a_{исх}^*, \quad (13)$$

где $a_{H_2O_2}^*$ – краснота образца почвы после окисления H_2O_2 , $a_{исх}^*$ – краснота исходного образца почвы.

После окисления остаток почвы краснеет ($\Delta a^* > 0$) или зеленеет ($\Delta a^* < 0$). Покраснение образцов почвы после окисление гумуса происходит за счет сильного проявления пигментирующей способности (гидр)оксидов железа. Позеленение оглеенных образцов после обработки перекисью водорода, по мне-

нию Ф.И. Козловского [124], возможно за счет усиления оливкового тона глинистых минералов, а также проявления зеленой окраски гидроксида Fe – грин раста [297].

Таблица 17

Изменение оптических характеристик аллювиальных почв Среднего Предуралья после обработки H_2O_2 в системе CIE- $L^*a^*b^*$

№ образца	Горизонт, разрез	L^*	a^*	b^*	Mel	Δa^*	$Light$
1	C1 [~] , разр. 52	<u>51,0</u>	<u>8,2</u>	<u>20,1</u>	<u>62,0</u>	+0,5	5,6
		55,4	8,7	21,8	-		
2	AУра, разр. 33	<u>38,8</u>	<u>3,8</u>	<u>10,5</u>	<u>38,1</u>	+2,9	9,2
		54,0	6,7	17,6	-		
3	C5g [~] , разр. 33	<u>50,7</u>	<u>8,0</u>	<u>19,0</u>	<u>70,4</u>	+1,0	2,3
		52,3	9,0	21,3	-		
4	C6 [~] , разр. 34	<u>46,3</u>	<u>4,6</u>	<u>14,0</u>	<u>76,8</u>	+1,3	4,6
		50,9	5,9	14,9	-		
5	G [~] , разр. 41	<u>44,5</u>	<u>2,6</u>	<u>9,9</u>	<u>47,4</u>	-2,3	14,4
		61,4	0,2	12,5	-		
6	C1g [~] , разр. 41	<u>54,7</u>	<u>2,9</u>	<u>15,9</u>	<u>62,0</u>	-1,2	11,3
		62,9	1,7	18,0	-		
7	C5g [~] , разр. 43	<u>52,5</u>	<u>8,0</u>	<u>21,2</u>	<u>73,0</u>	-0,4	2,0
		53,8	7,6	22,0	-		
8	C2g.fn [~] , разр. 51	<u>57,5</u>	<u>3,9</u>	<u>16,0</u>	<u>34,0</u>	-2,6	7,9
		67,4	1,3	17,1	-		
9	G [~] , разр. 51	<u>56,7</u>	<u>3,6</u>	<u>15,9</u>	<u>45,6</u>	-0,8	9,1
		65,3	2,8	18,0	-		
10	[T1], разр. 32	<u>26,0</u>	<u>4,7</u>	<u>2,1</u>	<u>29,4</u>	-4,3	12,6
		57,7	0,4	7,0	-		
11	H, разр. 41	<u>41,8</u>	<u>4,8</u>	<u>13,8</u>	<u>28,5</u>	-3,1	9,0
		60,2	1,7	13,3	-		

Примечание: числитель – исходные образцы,
знаменатель – после обработки H_2O_2 , «-» – не определяли

На рисунке 24 показано положение образцов аллювиальных почв с учетом их цвета в координатах a^* и b^* до и после обработки почвы H_2O_2 . На графике также нанесены оптические характеристики, полученные О.В. Глазковым [58], для гетитовых (А) и гематитовых (В) смесей с каолинами.

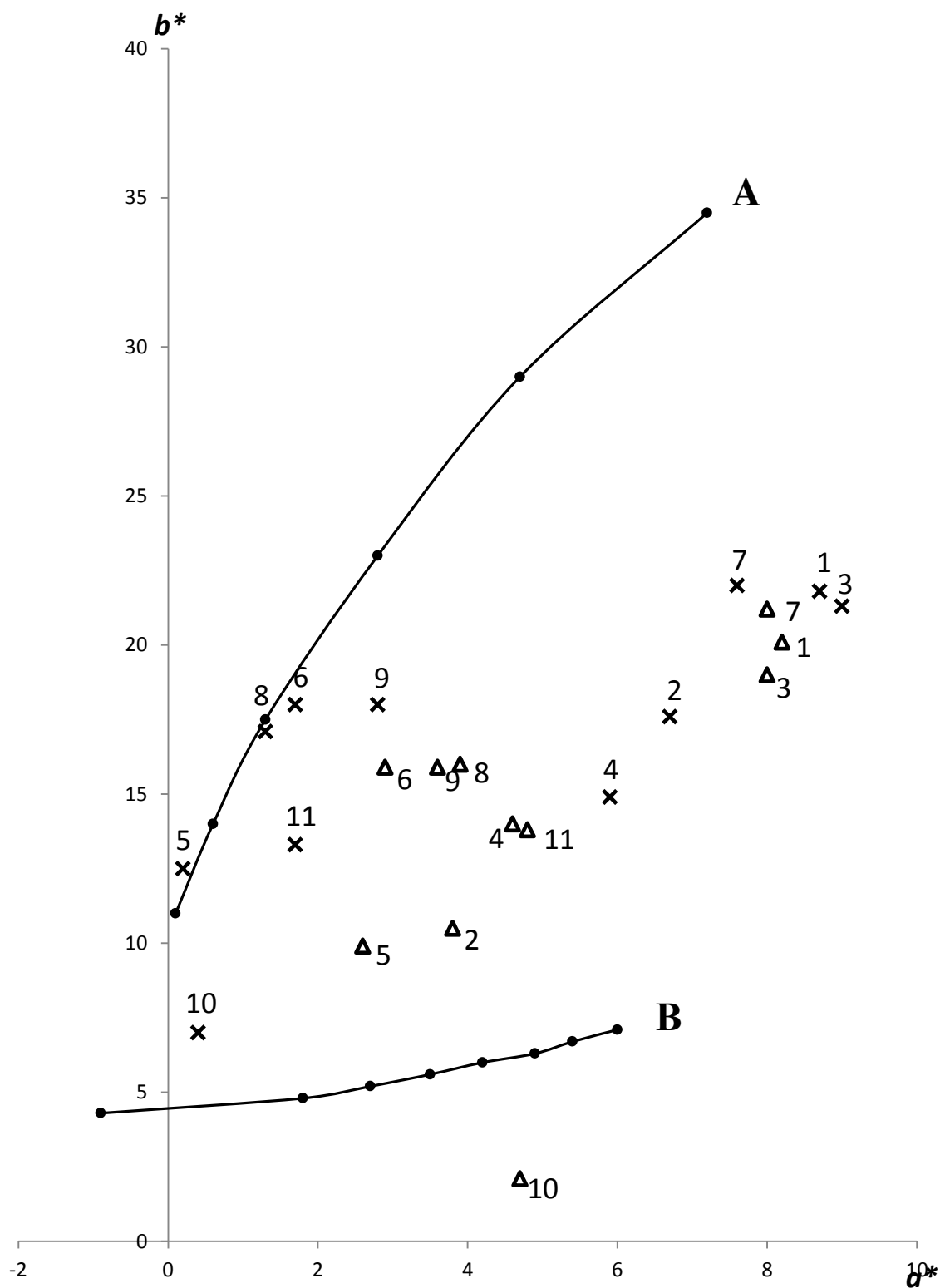


Рисунок 24. Оптические свойства аллювиальных почв Среднего Предуралья до (Δ) и после (\times) окисления органического вещества пергидролем и оптические характеристики смеси (гидр)оксидов железа с каолинитом (по данным О.В. Глазкова [58]):
 А – гетит-каолиновая смесь, В – гематит-каолиновая смесь
 1-11 – номера точек, соответствующих обозначениям образцов в таблице 17

При увеличении доли Fe-пигмента значения a^* и b^* , характеризующие цвет железисто-глинистых эталонов, возрастают. Увеличение концентрации гематита приводит к росту красноты a^* , а желтизна b^* возрастает незначительно тогда как, нарастание доли гетита в эталонной смеси приводит к одновременному увеличению и красноты, и желтизны.

Большинство точек на рисунке 24, характеризующие цвет исследуемых аллювиальных почв, находятся в области одинаково далеко расположенной от линий, характеризующих цвет гетита и гематита. Такой результат можно трактовать по-разному, например, как совместное влияние на цветовой тон гетита и гематита. Это относится к горизонтам АУра (разр. 33, В. Мулянка), G (разр. 51, Обва) и др. В горизонтах G (разр. 41) и C5g (разр. 43) поймы р. Камы преобладающий Fe-пигмент представлен Mn-фероксигитом. Фероксигит по цветовому тону занимает промежуточное положение между гематитом и гетитом, что и определяет положение образцов 2, 5, 7 и 11 в координатах $a^* \sim b^*$ (рисунок 24).

Оптические свойства почв, обработанные H_2O_2 и выраженные в координатах Δa^* и *Light*, являются более информативными (рисунок 24).

Они слабо зависят друг от друга: коэффициент корреляции между Δa^* и *Light* отрицательный ($r = -0,55$). Известно, что суммарная информативность выше у независимых признаков, чем у взаимосвязанных [208]. Образцы почв разной степени гидроморфизма различаются по характеру прироста красноты Δa^* после обработки H_2O_2 : $\Delta a^* > 0$ или $\Delta a^* < 0$ и зависимостью Δa^* (прямая или обратная) от степени осветления (*Light*) обработанных H_2O_2 почв в зависимости от проявления гидроморфизма в профиле.

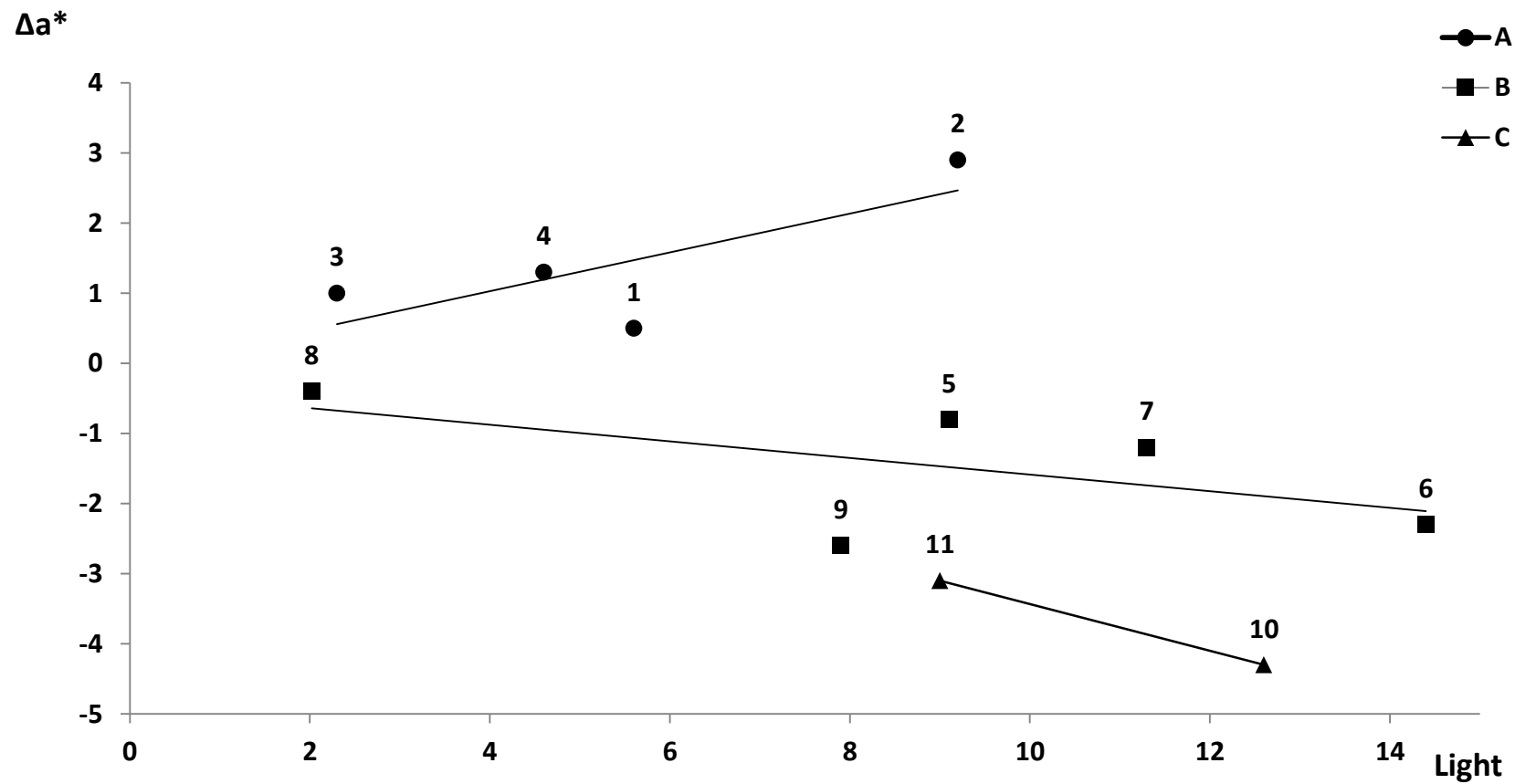


Рисунок 25. Соотношение прироста красноты и осветления аллювиальных почв Среднего Предуралья после обработки H_2O_2 :
 А – неоглеенные, В – оглеенные, С – органогенные;
 1-11 – номера образцов почв указаны в таблице 17

На рисунке 25 хорошо различаются две группы точек. Верхняя группа представлена образцами почв 1-4, в которых, по мере окисления гумуса, возрастает степень краснотности остатка ($\Delta a^* > 0$), что связано с увеличением, после обработки H_2O_2 , вклада красных железосодержащих пигментов – гематита и/или ферроксигита. Это подтверждается прямой зависимостью между Δa^* и *Light*. На нижней части рисунка 21 представлена группа глееватых, глеевых (образцы 6-9) и органогенных (образцы 10-11) горизонтов. В них уменьшение красноты ($\Delta a^* < 0$) и обратная зависимость между Δa^* и *Light* после окисления гумуса связаны с усилением влияния зеленых пигментов, в том числе грин раста. Именно этот гидроксид железа с зеленой окраской диагностируется зарубежными исследователями в почвах избыточного увлажнения [297]. Следовательно, обработка почв H_2O_2 в сочетании с системой оценки цвета CIE- $L^*a^*b^*$ повышает точность диагностики горизонтов аллювиальных почв, испытывающих влияние гидроморфизма.

4.2. Оксидогенез и гидроморфизм почв

Состояние оксидов и гидроксидов железа и марганца в почвах характеризует почвенные процессы, в определенной степени связанные с гидроморфизмом, в том числе оксидогенез, оглеение, торфообразование, конкрециеобразование.

Оксидогенез железа и марганца – рассматривается здесь как «*процесс-результат*» [223]. Анализ данных таблицы 18, позволяет обобщить ряд частных выводов, изложенных выше, при характеристике оксидогенеза.

Различия горизонтов по показателям оксидогенеза заключаются в следующем. В минеральных горизонтах с признаками оглеения содержание несиликатного ($Fe_{дйт}$) и аморфного ($Fe_{окс}$) железа выше, чем в неоглеенных (таблица 18).

Таблица 18. Показатели оксидогенеза железа и марганца и гидроморфизм в аллювиальных почвах

Показатели оксидогенеза	Горизонты с признаками Гидроморфизма				Горизонты без признаков оглеения		Конкреции (n = 8)	
	H, [T], H _{mr} (n = 6)		G, Cg, AYg, Gfn, C1[hh]g, Cg,fn (n = 19)		AY, C[hh], W(AY), AYpa, C [~] (n = 25)			
	M	lim	M	lim	M	lim	M	lim
Fe _{ДИТ} , %	1,30	0,26-2,30	1,80	0,52-3,82	1,73	1,09-2,81	8,84	3,90-13,1
Fe _{ДИТ} /Fe _{ВАЛ}	0,23	0,11-0,33	0,27	0,10-0,46	0,29	0,20-0,60	0,36	0,21-0,45
Fe _{ОКС} , %	0,59	0,15-1,30	0,72	0,14-2,08	0,54	0,13-1,89	1,16	0,82-1,29
Fe _{ОКС} /Fe _{ВАЛ}	0,11	0,06-0,23	0,10	0,02-0,20	0,08	0,02-0,25	0,05	0,02-0,07
Fe _{ОКС} /Fe _{ДИТ}	0,52	0,29-0,94	0,40	0,09-0,63	0,29	0,09-0,88	0,15	0,09-0,31
Fe _{ОКРИСТ} , %	0,71	0,09-1,64	1,09	0,21-2,17	1,19	0,23-2,18	7,68	2,71-11,9
Fe _{ОКРИСТ} /Fe _{ДИТ}	0,48	0,06-0,71	0,60	0,37-0,91	0,71	0,12-0,91	0,85	0,69-0,91
Mn _{ДИТ} , %	0,04	0,01-0,08	0,15	0,01-0,91	0,07	0,03-0,12	2,06	0,04-4,75
Mn _{ДИТ} /Mn _{ВАЛ}	0,35	0,14-0,68	0,46	0,13-0,85	0,47	0,21-0,92	0,70	0,21-0,98
Mn _{ОКС} , %	0,04	0,0-0,12	0,12	0,0-0,87	0,05	0,02-0,10	0,47	0,02-0,59
Mn _{ОКС} /Mn _{ВАЛ}	0,22	0,0-0,54	0,35	0,0-0,68	0,33	0,09-0,56	0,24	0,09-0,50
a*	5,3	4,6-6,4	5,9	2,6-8	6,3	3,8-8,2	8,8	6,39-12,8
R(Lab)	-	-	4,0	1,1-6,3	6,3	1,50-11,8	58	12,6-93
Нем усл, %	0,26	0,09-0,56	0,19	0,0-0,36	0,21	0,02-0,37	-	-
Δa*	-3,7	-4,3... -3,1	-1,6	-2,6... -0,4	+1,4	+0,5... +2,9	-	-
Light	10,8	6,0-9,0	8,9	2,0-14,4	5,4	2,3-9,2	-	-
МВ, 10 ⁻⁸ м ³ /кг	14	0,1-37	16	7-34	33	12-68	30	18-51

В оглеенных горизонтах также выше содержание Mn в дитионитовой и оксалатной вытяжках. Содержание окристаллизованного железа ($Fe_{\text{ОКРИСТ}}$) в оглеенных горизонтах ниже, так как в процессе восстановления происходит частичное разрушение гематита и гетита. Критерий гидроксидогенеза ($Fe_{\text{ОКС}}/Fe_{\text{ДИТ}}$) имеет наиболее высокие значения в органических и оглеенных горизонтах.

Горизонты с признаками гидроморфизма отличаются более низкой краснотой a^* и значением показателя краснотности $R(Lab)$.

Магнитная восприимчивость горизонтов с признаками гидроморфизма намного ниже, чем в неоглеенных горизонтах.

Наиболее интенсивно оксидогенез развит в конкрециях. Состояние железа в них характеризуется высоким содержанием сильноокристаллизованных форм и более высокой, по сравнению с матрицей почвы, степенью развития оксидогенеза $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$. В конкрециях содержание дитиониторастворимого марганца высокое.

Таким образом, оксидогенез железа и марганца в аллювиальных почвах – современный почвообразовательный процесс, который тесно связан с гидроморфизмом и восстановительной фазой процесса оглеения аллювиальных почв.

ГЛАВА 5. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ОКСИДОГЕНЕЗ В ПОЧВАХ ПОЙМ РЕК КАМЫ, ОБВЫ И ВЕРХНЕЙ МУЛЯНКИ

5.1. Природно-техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами и мышьяком

Валовое содержание в почвах тяжелых металлов и мышьяка. Концентрация тяжелых металлов в аллювиальных почвах Среднего Предуралья определяется тремя основными факторами: особенностями химического состава аллювия; свойствами, составом и режимами почв; степенью техногенной нагрузки на речные долины.

Содержание тяжелых металлов (Zn, Cr, Ni, Cu, Sr, Zr, Rb, Y, Ga) и As определено в лаборатории химии почв Почвенного института имени В.В. Докучаева на приборе Tefa-6111 – методом количественного спектрального рентгенфлуоресцентного анализа (аналитик А.В. Савичев).

Оценка содержания ТМ в почвах проведена по ОДК [61, 62], ПДК [60], кларку почв [33, 269]. Содержание ТМ в зональных почвах Среднего Предуралья приводится по данным анализа почв реперных участков ГЦАС «Пермский» [229]. В качестве регионального фона принята медиана содержания тяжелых металлов для 1730 точек опробования из горизонта А1 почв Пермского края [128].

Элементный состав аллювия. Повышенное, относительно кларка, содержание Cr, Ni, Cu, Zn – одна из генетических особенностей химического состава коренных пород пермской геологической системы и почв восточной окраины Русской равнины [52, 122, 128, 255, 256]. В результате выветривания горных пород и минералов, развития эрозионных процессов в долинах рек тяжелые металлы в составе твердой фазы в период паводка, а также вместе с грунтовыми водами в ионной форме поступают в аллювиальные почвы и вовле-

каются в биогеохимический круговорот пойменных экосистем. Так, в пойме р. Обвы отношение валового содержания химического элемента в наилке к содержанию в горизонте АУ (разр. 53) составляет: Mn (2,1), Zn (1,6), Cu (1,2), Ni (1,1) и As (1,2) (таблица 19). Величина этих коэффициентов характеризует интенсивность проявления твердофазного гидрогенного загрязнения почв пойм.

Для анализа накопления ТМ были рассчитаны величины средневзвешенного профильного содержания ТМ, что позволяет учитывать синлитогенный генезис аллювиальных почв (таблица 19). Коэффициенты среднепрофильной концентрации ТМ и As, **по отношению к кларку (K_K)**, в почвах поймы р. Обвы составляют ряд: $Cu_{2,4} > Cr_{2,4} > Ni_{1,6} > Zn_{1,5} > As_{1,1}$. В почвах поймы р. Камы ряд накопления элементов, в соответствии с K_K , следующий: $Mn_{1,9} > Cr_{1,9} > Cu_{1,8} > As_{1,5} > Zn_{1,4} > Ni_{1,3}$. Наиболее высокие коэффициенты концентрации ТМ и As характерны для почв поймы р. В. Мулянки: $Cu_{2,9} > Cr_{2,7} > Ni_{2,2} > As_{1,5}$. В отдельных горизонтах почв пойм концентрация ТМ относительно кларка еще выше. Содержание Sr в почвах поймы р. В. Мулянки превышает кларк в 1,6 раз и более, что значительно выше, чем в почвах пойм рек Обвы и Камы. Техногенными источниками Sr и других ТМ в почвах поймы р. В. Мулянки могут быть попутные воды Лобановского нефтяного месторождения [25, 127, 220] и выбросы нефтеперерабатывающих предприятий Осенцовского промышленного узла [261]. Содержание Rb, Ga, Y и Zr в почвах пойм рек Среднего Предуралья ниже кларка, что также характеризует геохимические особенности горных пород и почв региона (таблица 19).

Содержание ТМ в изученных почвах в несколько раз превышает уровень их **концентрации ($K_{зон}$) в почвах водоразделов** южной тайги Среднего Предуралья: As (14-27), Cu (2,0-3,5), Zn (1,1-2,1) (таблица 19).

Таблица 19. Валовое содержание тяжелых металлов
и мышьяка в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, мг/кг

Горизонт, мощность, см	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga	Z	Мощность слоя, см	Z _{проф}
Аллювиальная перегнойно-глеевая типичная, разр. 41, Кама														
Н 0-23	83	4	130	64	50	1146	140	182	71	25	14	5,0	0-23	5,0
[Т] 23-89	85	7	125	65	57	1053	141	127	65	23	13	5,6	0-89	5,3
G [~] 89-110	69	-	130	43	33	488	164	375	65	20	11	3,0	0-100	5,2
C1g [~] 110 и >	52	8	140	51	29	534	172	380	63	20	9	3,4		
M	68	7	133	54	39	738	158	297	66	22	11			
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама														
AYg 0-25	104	11	135	69	39	3679	149	245	81	26	18	9,2	0-25	9,2
C1g [~] 25-31	86	11	125	79	46	8062	148	267	80	29	19	14,5	0-31	12,3
Gfn [~] 31-55	72	-	125	53	40	1572	171	363	73	23	14	4,4	0-55	12,3
C2g [~] 55 и >	72	10	130	22	40	2339	172	374	82	23	13	6,1	0-100	14,1
M	84	11	130	52	40	2998	162	319	79	24	15			
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама														
AY 0-20	100	6	99	56	44	1254	164	285	71	24	11	4,7	0-20	4,7
C1[hh] [~] 20-30	87	7	130	70	48	1138	152	226	76	30	18	5,5	0-30	2,8
C2[hh] [~] 30-53	71	-	130	47	30	883	152	287	74	18	16	3,0	0-53	2,8
C3 [~] 53-75	54	4	135	37	25	960	174	394	57	14	13	1,4	0-75	2,9
C4g [~] 75-100	66	-	135	44	34	1177	167	385	69	23	12	3,4	0-100	3,3
C6g [~] 150 и >	52	6	130	41	28	534	164	342	57	18	9	2,5		
M	70	5	125	52	35	1423	165	345	570	21	13			

Продолжение таблицы 19

Горизонт, мощность, см	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga	Z	Мощность слоя, см	Z _{проф}
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, Обва														
AYg 0-22	90	8	158	78	54	1234	207	254	75	27	12	6,8	0-22	6,8
C1[hh]g [~] 22-37	92	6	144	74	60	1077	192	257	69	25	10	6,2	0-37	4,0
C2g.fn [~] 37-75	104	6	164	66	58	511	168	244	86	30	19	6,2	0-75	5,3
G [~] 75 и >	101	6	164	90	55	597	173	244	88	33	22	6,6	0-100	6,3
M	98	7	159	74	57	796	182	249	81	29	16			
Аллювиальная серогумусовая типичная, разр. 52, Обва														
AY 0-24	76	7	226	60	47	845	225	292	61	26	14	6,0	0-24	6,0
C1 [~] 24-47	67	8	178	64	49	759	226	337	68	25	11	5,5	0-47	4,2
C2 [~] 47-70	66	-	158	69	52	721	213	326	74	28	11	4,9	0-100	5,3
C3 [~] 70-101	72	4	164	65	51	825	215	315	75	26	12	5,0		
C4 [~] 101 и >	75	8	178	68	42	1186	221	309	73	30	12	5,7		
M	71	6	180	65	49	839	219	316	70	27	12			
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 53, Обва														
наилок	81	8	172	65	52	1898	249	269	69	21	15	7,1		7,1
W(AY) 0-20	52	7	308	58	42	907	264	418	51	22	15	6,5	0-20	6,5
C3 [~] 36-52	40	4	130	41	33	899	235	167	37	15	8	2,6	0-52	2,9
C4 [~] 52-71	57	-	172	58	42	976	265	296	61	19	12	4,3	0-71	3,3
C6 [~] 78-90	61	-	109	56	46	883	254	251	55	23	12	3,5	0-90	3,7
C7 [~] 90 и >	40	5	110	48	31	643	267	172	41	16	9	2,3	0-100	3,8
M	52	5	159	50	37	831	259	254	49	20	12			

Продолжение таблицы 19

Горизонт, мощность, см	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga	Z	Мощность слоя, см	Z _{проф}
Аллювиальная иловато-перегнойно-глеевая типичная, разр. 32, В. Мулянка														
<i>Hmr</i> 0-15	84	4	150	92	62	1364	338	125	46	17	12	6,8	0-15	6,8
<i>H</i> 15-32	81	9	184	104	59	721	352	120	45	20	15	7,6	0-32	5,1
<i>C1g[~]</i> 32-49	82	5	198	110	73	589	337	148	42	21	20	7,9	0-49	5,1
<i>C2g[~]</i> 49-78	76	5	192	114	78	511	351	128	43	20	17	8,0	0-78	6,6
<i>G[~]</i> 78-92	76	5	198	95	59	434	370	139	52	16	13	6,7	0-92	7,0
[T1] 92-110	21	-	184	27	30	457	481	50	20	8	7		0-100	7,1
[T2] 110 и >	7	-	164	13	39	263	280		16	-	-	н/о		
<i>M¹</i>	79	6	186	105	68	691	349	131	45	19	16			
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, В. Мулянка														
<i>AУpa</i> 0-29	76	8	150	79	55	1363	309	241	66	21	10	6,4	0-29	6,4
<i>C1[~]</i> 29-49	67	11	178	90	50	1169	315	265	68	23	15	7,2	0-49	4,8
<i>C2[~]</i> 49-75	67	10	184	94	57	1308	304	288	68	26	15	7,7	0-75	6,0
<i>C3[~]</i> 75-107	69	8	212	91	57	1422	339	277	64	25	11	7,8	0-100	7,3
<i>C4g[~]</i> 107-137	91	6	150	91	59	1194	262	249	72	21	6	6,8		
<i>C5g[~]</i> 137 и >	61	9	192	82	49	664	284	296	53	21	14	6,3		
<i>M</i>	73	8	177	88	55	1187	303	268	65	23	11	6,4		

Продолжение таблицы 19

Горизонт, мощность, см	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga	Z	Мощность слоя, см	Z _{проф}
Аллювиальная слоистая типичная, разр. 34, В. Мулянка														
W(AУ) 0-30	76	9	154	83	53	1220	400	203	53	20	14	6,7	0-30	6,7
C1 [~] 30-41	48	7	172	65	40	1011	424	143	43	19	10	4,7	0-41	3,3
C2 [~] 41-48	68	6	172	82	44	1011	390	227	52	19	13	5,5	0-48	3,3
C3 [~] 48-76	68	9	178	88	56	1011	436	197	49	18	11	6,9	0-76	5,4
C4 [~] 76-100	58	5	172	74	52	935	438	197	50	21	9	5,2	0-100	6,1
C5 [~] 100-108	55	10	172	71	54	1397	401	109	37	20	14	6,7		
C6 [~] 108-130	47	6	226	64	46	853	469	223	45	16	14	5,3		
C7 [~] 130 и >	58	11	220	72	51	840	439	212	49	17	12	6,9		
<i>M</i>	61	8	188	76	51	995	431	199	49	18	12			
<i>кларк</i>	50	5	70	40	20	850	300	300	100	40	30			
<i>зон. почвы</i>	45,6	0,37	-	-	14,7	-	-	-	-	-	-			
<i>фон</i>	70	0	280	35	50	900	70	350	-	20	13			
<i>ПДК</i>	100	2	-	85	55	1500	-	-	-	-	-			
<i>ОДК (песч. почвы)</i>	55	2	-	20	33	-	-	-	-	-	-			
<i>ОДК (рН<5,5)</i>	110	5	-	40	66	-	-	-	-	-	-			
<i>ОДК (рН>5,5)</i>	220	10	-	80	132	-	-	-	-	-	-			

Примечание: “-” – фон, ПДК, ОДК отсутствуют, *M* – средневзвешенное по профилю содержание элемента, ¹ – погребенные торфяные горизонты исключены из расчета.

По остальным тяжелым металлам, исследованным в работе, мониторинг в ГЦАС «Пермский» в почвах реперных участков не осуществляется и, поэтому, полный анализ по величине K_{30H} не предоставляется возможным.

По отношению к региональному фону аллювиальные почвы также характеризуются повышенным содержанием ТМ (таблица 19). Для почв поймы р. Камы ряд тяжелых металлов по $K_{фон}$ следующий: $As_{7,7} > Sr_{2,3} > Mn_{1,9} > Ni_{1,5} > Zn_{1,2}$; в почвах поймы р. Обвы: $As_{6,0} > Sr_{3,1} > Ni_{1,8} > Zn_{1,2}$; в почвах поймы р. В. Мулянки: $As_{7,3} > Sr_{2,8} > Ni_{2,6} > Zn_{1,2} > Cu_{1,2} > Mn_{1,1}$. Обращает внимание высокое содержание As в почвах пойм, что связано с его высокой миграционной способностью. Это подтверждает многочисленные выводы о роли аллювиальных почв как геохимических барьеров на пути миграции ТМ с водораздельных территорий [19, 88, 120 и др.].

Экологическая ситуация на территории Пермского района Пермского края, по оценке С.А. Двинских [76], удовлетворительная. В этих условиях природно-техногенное загрязнение почв *поймы р. В. Мулянки* достигает высокого уровня. Среднепрофильная концентрация As, Ni, Cu, Zn выше **ПДК** и **ОДК** (таблица 19). В иловато-перегнойно-глеевой почве при-террасной поймы (разр. 32) концентрация Ni выше **ОДК** ($K_{одк}$) в 1,3 раза. В торфяных горизонтах содержание ТМ значительно ниже, чем в минеральных. Исключение составляет Sr в гор. [Т1], что обусловлено совместным накоплением его с Ca. В постагрогумусовой глееватой почве (разр. 33) содержание Ni превышает ОДК в 1,1-1,2 раза. Наиболее загрязнена ТМ слоистая типичная почва на супесчаном аллювии (разр. 34). Превышение ОДК, с учетом ее легкого гранулометрического состава, установлено для Cu (1,2-1,7), Ni (3,2-4,4), As (2,5-5,5), Zn (1,1-1,2). В перегнойно-глеевой типичной почве (разр. 43) *поймы р. Камы* валовое содержание Ni и As превышает ОДК в 1,4 раза. Загрязнение марганцем в наибольшей степени выражено в серогумусовой глеевой почве (разр. 42): в гор. С1g содержание Mn достигает 8062 мг/кг,

что в 5,4 раза выше ПДК. По данным ГУ «Пермский ЦГМС», концентрация Mn в воде Воткинского водохранилища в районе г. Перми превышает ПДК_{р/х} в 10-12 раз [228, 229]. Следовательно, в условиях напряженной экологической обстановки на территории г. Перми, Mn поступает в почвы поймы гидрогенным и аэральным путем. В свою очередь загрязненные почвы побережья Воткинского водохранилища могут быть источником загрязнения Mn для речных и грунтовых вод. В почвах *поймы р. Обвы* средневзвешенное профильное валовое содержание Ni и As превышает ОДК, соответственно, в 1,6 и 1,1 раза. Почвы поймы р. Обвы, удаленные от промышленных центров, аккумулируют ТМ из природных источников.

Таким образом, поллютантами аллювиальных почв Среднего Предуралья являются Cu, Ni, Zn, As, Mn.

Комплексная оценка загрязнения почвы чаще всего проводится по формуле Саета [217]. Она хорошо отражает аэральное загрязнение, когда на поверхность почвы выпадают инертные поллютанты, которые не мигрируют или слабо мигрируют в профиле [24]. Для аллювиальных почв коэффициент суммарного загрязнения имеет некоторые ограничения. В аллювиальные почвы поллютанты поступают не столько аэральным путем, сколько гидрогенным, в том числе в составе твердой фазы аллювия, в результате этого формируется профиль со сложным распределением тяжелых металлов. Кроме того, поведение поллютантов, особенно дисперсных, с высокой реакционной способностью, оказывается более сложным. В результате возможно поступление значительной доли загрязняющих веществ вглубь почвы, вплоть до соответствующего геохимического барьера [157]. В силу этого, необходим особый подход к оценке эколого-геохимического состояния почв пойм.

Для подсчета суммарного загрязнения аллювиальных почв был использован новый критерий – *среднепрофильный суммарный показатель загрязнения* – $Z_{\text{проф}}$:

$$Z_{\text{проф}} = \sum_{j=1}^m Z_j \cdot h_j / \sum_{j=1}^m h_j, \quad (14)$$

где Z_j – показатель загрязнения Саета для j -го горизонта, h – мощность j -го горизонта.

$$Z = \sum_{i=1}^n K - (n - 1), \quad (15)$$

где K – коэффициент концентрации элемента в почве ($K = C_i / C_{i-ф}$, где C_i , $C_{i-ф}$ – концентрация i -элемента соответственно в почве и фоновых условиях), n – число учитываемых элементов.

Новый среднепрофильный суммарный показатель $Z_{\text{проф}}$ позволяет дать обобщенную оценку всей загрязненной толще почв.

Величина $Z_{\text{проф}}$ – функция мощности почвенного профиля. Для оценки распределения загрязняющих веществ по профилю был использован показатель $Z_{\text{проф-мах}}$ и его сравнение с Z в поверхностном слое почвы. В почвах, где поллютанты закрепляются в поверхностном слое, суммарное загрязнение распределяется по профилю аккумулятивно и, следовательно, $Z_{\text{проф-мах}}$ равен Z . В том случае, если поллютанты мигрируют вглубь почвы, либо профиль почвы сформирован синлитогенным путем, $Z_{\text{проф-мах}}$ распределяется элювиально-аккумулятивным образом $Z_{\text{проф-мах}}$ не соответствует Z . Новый показатель точнее отражает состояние почв с различным загрязнением в пределах профиля, чем показатель Саета, характеризующий наиболее загрязненный, но изолированный горизонт. Это имеет особое значение для характеристики синлитогенных почв, отличающихся литологической прерывистостью почвообразующих пород.

Почвы *поймы р. Обвы*, протекающей вдали от промышленных центров, характеризуются относительно слабым суммарным загрязнением. $Z_{\text{проф-мах}} = Z$ и составляет 6,8, 6,0, 6,5 (разр. 51, 52, 53). В пойме р. Обвы природное загрязнение

формируется в результате размыва и переотложения аллювиальных пород и почв речной долины, основная часть тяжелых металлов поступает вместе с наилком.

Более сложное среднепрофильное суммарное загрязнение в почвах *пойм рек Камы и В. Мулянки*. Критерий $Z_{\text{проф}}$ здесь выше. Загрязнение тяжелыми металлами распространяется на значительную глубину аллювиальных почв, что свидетельствует о длительном и регулярном поступлении поллютантов гидрогенным путем. Максимального значения загрязнения достигает в серогумусовой глеевой оруденелой почве (разр. 42, Кама), где Z составляет 14,5 в гор. C1g, $Z_{\text{проф-max}} = 14,1$ в слое 0-100 см. В перегнойно-глеевой (разр. 41) почве загрязнение значительно меньше, $Z_{\text{проф-max}}$ в слое 0-89 см составляет 5,3. В серогумусовой глееватой почве (разр. 43) $Z_{\text{проф-max}} = 4,7$ (0-20 см). Высокие значения $Z_{\text{проф}}$ характерны для почв поймы р. В. Мулянки. В перегнойно-глеевой почве $Z_{\text{проф-max}}$ достигает 7,1 (0-100 см), в постагрогумусовой аллювиальной глееватой – 7,3 (0-100 см) и в слоистой – 6,7 (0-30 см).

В почвах пойм проявляется многообразие специфических условий для аккумуляции ТМ из-за их сложного генезиса. В.В. Добровольским [82], А.Б. Гыниновой [74] и другими, было показано, что аккумуляция ТМ в аллювиальных почвах происходит на механическом, биогеохимическом, глеевом, окислительном и испарительном барьерах. По показателю максимальное внутрипрофильное содержание тяжелых металлов в изученных аллювиальных почвах Среднего Предуралья можно выделить сорбционный и окислительный барьеры, в соответствии с общепринятой классификацией геохимических барьеров по А.И. Перельману [187]. На окислительном барьере аккумулируется Mn (гор. C1g, разр. 42). Сорбционный барьер проявляется в накоплении Zn, Mn, As, Ni, Cu в горизонтах с высоким содержанием органического вещества, ила и Fe-Mn- конкреций (гор. H, [T], разр. 41; AYg,

разр. 42; АУ, разр. 43; С2g,fn, G, разр. 51; Нmr, Н разр. 32; С4g, разр. 33).

Корреляционный анализ по Спирмену показал, что валовое содержание железа имеет высокую положительную связь с валовым содержанием Mn ($r = 0,63$), Zn ($r = 0,55$), As ($r = 0,50$), Ni ($r = 0,50$), Rb ($r = 0,62$), Y ($r = 0,48$), Ga ($r = 0,49$). Следовательно, основные поллютанты аллювиальных почв связаны, прежде всего, с железосодержащими минералами (таблица 20).

Таблица 20

Корреляционная матрица валового содержания тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, $n = 52$

<i>r</i>	Fe	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga
Fe	1,0											
Zn	0,55*	1,0										
As	0,50*	0,00	1,0									
Cr	-0,09	-0,42*	0,21	1,0								
Ni	0,50*	0,52*	0,09	0,26	1,0							
Cu	0,27	0,57*	-0,02	0,10	0,78*	1,0						
Mn	0,63*	0,22	0,42*	-0,19	0,06	-0,07	1,0					
Sr	-0,19	-0,32	0,10	0,45*	0,34*	0,31	-0,26	1,0				
Zr	0,12	0,02	0,08	-0,08	-0,40*	-0,43*	0,11	-0,58*	1,0			
Rb	0,62*	0,57*	0,20	-0,24	0,10	0,00	0,37*	-0,70*	0,58*	1,0		
Y	0,48*	0,63*	0,22	-0,13	0,24	0,33*	0,28	-0,53*	0,32	0,77*	1,0	
Ga	0,49*	0,42*	0,26	0,14	0,30	0,33*	0,27	-0,20	-0,05	0,32	0,46*	1,0

Примечание: * – достоверно при $P = 0,95$

Содержание марганца высоко коррелирует только с валовым содержанием мышьяка ($r = 0,42$). Результаты кластерного анализа взаимной связи тяжелых металлов выявили связь железа с Y, Rb, Zr, а марганца – с As; и близость вышеуказанных кластеров ТМ. Высоким синергизмом характеризуются цинк, никель и медь (рисунок 26).

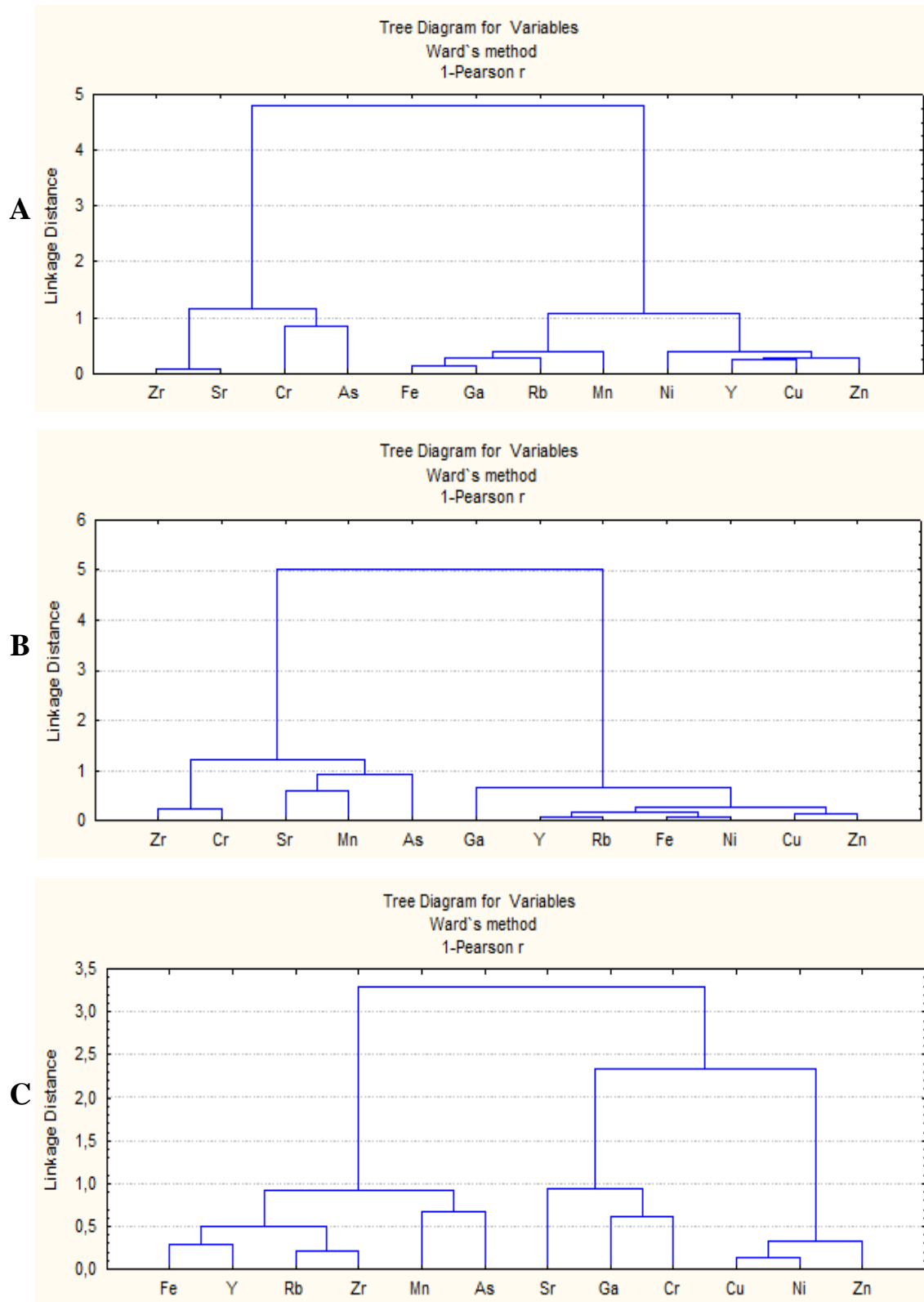


Рисунок 26. Дендрограмма кластер-анализа содержания тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных почвах:
А – Кама, В – Обва, С – В. Мулянка

Эти техногенные элементы активно вовлечены в производственный цикл машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий Пермского края. Аналогичная корреляция между тяжелыми металлами получена в почвах пойм рек Камы и Обвы.

Содержание в почвах подвижных форм тяжелых металлов. При анализе загрязнения почв тяжелыми металлами необходимо оценить не только валовое содержание, но и содержание подвижных форм, так как они легко мигрируют, доступны растениям и представляют наибольшую угрозу для здоровья человека.

Содержание подвижных форм Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, Co, Mn, Sr в ацетатно-аммонийном буфере (ААБ) с рН 4,8 [71] – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ААС-3 [205].

Самая высокая подвижность в аллювиальных почвах отмечена для Sr (разр. 32, Мулянка, разр. 41, Кама) и Mn (разр. 51, Обва), (таблица 21). Подвижность Ni, Zn, Cu в несколько раз меньше.

Подвижные формы ТМ, как и валовые, поступают в почвы вместе с наилоком. Коэффициент $K_{\text{наилок/AY}}$ по подвижным формам ТМ выше, чем по валовому содержанию и составляет ряд: Mn (14,5), Co (5,8), Pb (5,7), Cd (3,4), Ni (3,3), Zn (2,4), Cu (2,2). Следовательно, гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами в большей степени проявляется в подвижных формах.

В почвах пойм, по сравнению с зональными почвами водораздельных пространств (**зон**), содержание подвижных форм ряда Zn, Mn, Co и Cd выше (таблица 21).

Основными поллютантами в подвижной форме для почв пойм Среднего Предуралья являются Ni, Mn и Cd. Содержание подвижного Cd в почвах пойм рек Обвы и В. Мулянки превышает ПДК в 1,6-3,0 раза. Содержание подвижного Ni превышает ПДК в почвах поймы р. Камы в 1,6 раза, в почвах поймы р. Обвы в 3,3 раза.

Таблица 21

Средневзвешенное содержание (М) подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) и их подвижность в аллювиальных почвах

Трансекта	ТМ	М			Lim	Подвижность, %			Зон	К _{зон}			ПДК	К _{ПДК}		
№ разреза		41	42	43		41	42	43		41	42	43		41	42	43
Кама	Pb	1,7	0,8	0,4	0,2-2,0	-	-	-	-	-	-	-	6	0,3	0,1	0,1
	Cd	0,4	0,3	0,3	0,1-1,3	-	-	-	0,85	0,5	0,4	0,4	0,5	0,8	0,6	0,6
	Zn	6,1	6,0	3,9	0,2-11,7	3,5	9,7	3,9	1,34	4,6	4,5	2,9	23	0,3	0,3	0,2
	Ni	6,2	2,9	3,8	2,0-8,4	6,7	1,9	4,1	-	-	-	-	4	1,6	0,7	1,0
	Cu	1,5	1,2	1,2	0,5-2,4	1,6	1,3	3,2	4,2	0,4	0,3	0,3	3	0,5	0,4	0,4
	Co	0,4	0,1	0,1	0,1-0,5	-	-	-	2,12	0,2	0,0	0,0	5	0,1	0,0	0,0
	Mn	110	116	41	23,6-137,6	2,1	1,6	19,8	41,9	2,6	2,8	1,0	80	1,4	1,5	0,5
Sr	16	32	21		33,3	19,1	26,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
№ разреза		51	52	53		51	52	53		51	52	53		51	52	53
Обва	Pb	3,5	1,3	1,7	0,9-5,5	-	-	-	-	-	-	-	6	0,6	0,2	0,3
	Cd	1,5	0,4	0,8	0,3-2,4	-	-	-	0,85	1,8	0,5	0,9	0,5	3,0	0,8	1,6
	Zn	6,8	1,6	0,8	0,1-9,4	6,2	2,3	1,9	1,34	5,1	1,2	0,6	23	0,3	0,1	0,0
	Ni	13	4,0	1,7	1,0-25,2	17,5	5,9	3,4	-	-	-	-	4	3,3	1,0	0,4
	Cu	2,4	1,2	0,7	0,6-4,1	4,2	2,5	1,8	4,2	0,6	0,3	0,2	3	0,8	0,4	0,2
	Co	2,9	0,7	0,7	0,2-6,4	-	-	-	2,12	1,4	0,3	0,3	5	0,6	0,1	0,1
	Mn	139	16	42	7,9-278,8	21,5	2,0	4,8	41,9	3,3	0,4	1,0	80	1,7	0,2	0,5
Sr	36	38	32		20,9	16,8	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
№ разреза		32	33	34		32	33	34		32	33	34		32	33	34
В. Мулянка	Pb	3,4	0,6	3,0	0,3-6,2	-	-	-	-	-	-	-	6	0,6	0,1	0,5
	Cd	0,9	0,3	1,2	0,3-2,7	-	-	-	0,85	1,1	0,4	1,4	0,5	1,8	0,6	2,4
	Zn	1,6	6,1	2,5	0,1-6,8	3,5	9,7	3,9	1,34	1,2	4,6	1,9	23	0,1	0,3	0,1
	Ni	2,6	1,7	2,8	1,7-4,9	6,7	1,9	4,1	-	-	-	-	4	0,7	0,4	0,7
	Cu	1,1	0,7	1,4	0,4-2,7	1,6	1,3	3,2	4,2	0,3	0,2	0,3	3	0,4	0,2	0,5
	Co	1,1	0,2	0,7	0,1-1,4	-	-	-	2,12	0,5	0,1	0,3	5	0,2	0,0	0,1
	Mn	22	19	183	3,3-489,2	2,1	1,6	19,8	41,9	0,5	0,5	4,4	80	0,3	0,2	2,3
Sr	98	57	108		33,3	19,1	26,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: подвижность – содержание элемента в ААБ в % от валового, ЗОН – по данным ГЦАС «Пермский», «-» означает «данные отсутствуют»

Содержание подвижного Mn в пойме р. Обвы выше ПДК в 1,4-1,8 раза (разр. 51), в пойме р. В. Мулянки – в 1,8 раз (разр. 34). Концентрация подвижных форм Co и Zn не превышает ПДК, а количество Pb и Cu выше ПДК только в отдельных горизонтах.

В аллювиальных почвах наличие подвижного марганца тесно связано с содержанием подвижных форм Ni, Pb, Cd, Zn, Cu, Co и Sr (таблица 22).

Таблица 22

Корреляционная матрица содержания подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных почвах Среднего Предуралья, n = 52

<i>r</i>	Ni	Mn	Pb	Cd	Zn	Cu	Co	Sr
Ni	1,00							
Mn	0,35*	1,00						
Pb	0,51*	0,73*	1,00					
Cd	0,41*	0,76*	0,86*	1,00				
Zn	0,43*	0,33*	0,15	0,12	1,00			
Cu	0,76*	0,60*	0,65*	0,58*	0,42*	1,00		
Co	0,90*	0,39*	0,68*	0,45*	0,58*	0,73*	1,00	
Sr	-0,18	0,44*	0,51*	0,51*	-0,23	0,07	0,03	1,00

Очевидно, осаждение подвижного марганца и тяжелых металлов происходит совместно, поэтому они одновременно извлекаются ацетатно-аммонийным буфером из почвы.

5.2. Марганцево-железистые конкреции как концентраторы тяжелых металлов

Показатель обогащения химическими элементами конкреций по сравнению с вмещающей почвой K_X , рассчитан по отношению:

$$K_X = C_{\text{конкр}} / C_{\text{почв}}, \quad (16)$$

где $C_{\text{конкр}}$ и $C_{\text{почв}}$ – содержание элемента (X) в конкрециях и вмещающей почве. В марганцево-железистых ортштейнах и железистых роренштейнах аллювиальных почв, по сравнению с вмещающей почвой, накапливаются: $Mn_{16,2} > P_{8,1} >$

$As_{5,2} > Ni_{4,2} > Fe_{4,2} > Cu_{1,6} > Y_{1,4} > Zn_{1,1}$. В конкрециях рассеиваются ($K < 1$): Si, Al, Ti, Ca, Cr, Sr, Zr, Ga (рисунок 27, приложение 9, 10). Ранее исследованиями Т.И. Ульяночкиной [237], П.Н. Балабко [18], Я.О. Тимофеевой [234, 235] было установлено, что конкреции аллювиальных почв являются чувствительным барьером для металлополлютантов.

Новообразования разного генезиса имеют особенности химического состава. Орштейны серогумусовой глеевой почвы (разр. 41) содержат 26% Mn, 29% Ni от валового содержания в почве. Конкреции серогумусовой глееватой почвы (разр. 42, Кама) депонируют 49% As, 35% Ni (приложение 10).

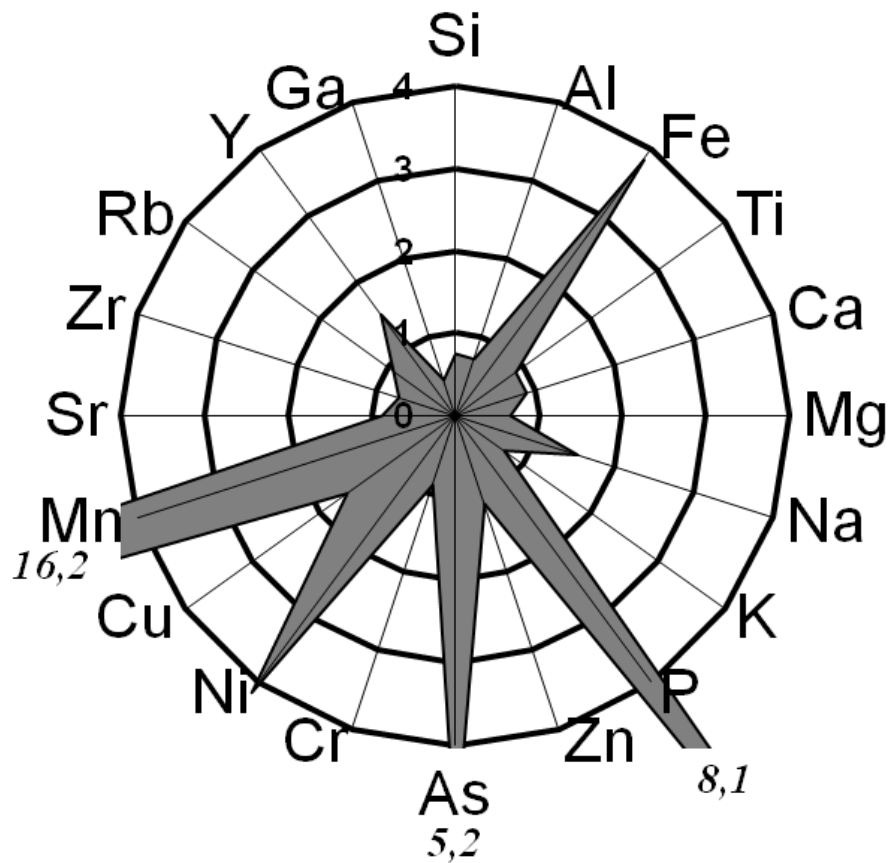


Рисунок 27. Коэффициенты концентрации химических элементов в конкрециях аллювиальных почв центрального геоморфологического района Пермского края, $n=9$

Кластер-анализ взаимосвязи ТМ в конкрециях выявил, что марганец образует кластер с Cu, Ni, Y, Sr (r -Pearson = 0,1-0,4), а железо – с As и Rb (0,2-0,3), Zn связан с Ga (0,2), а Cr с Zr (0,9). Эти четыре кластера имеют низкую степень сходства между собой. Роль марганца в закреплении ТМ в конкрециях выше, чем роль железа (рисунок 28).

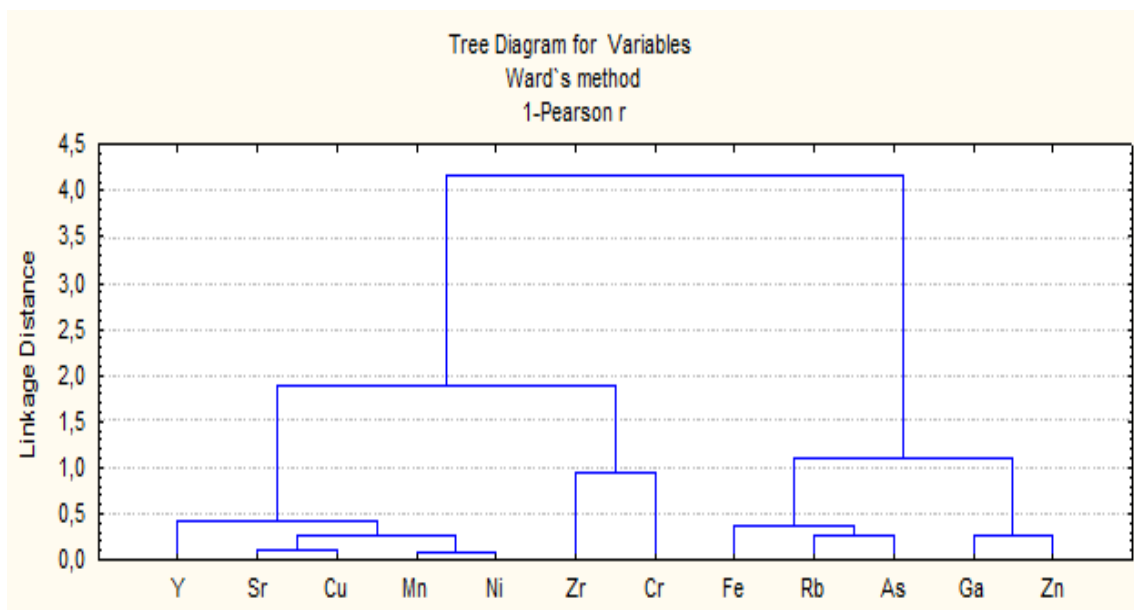


Рисунок 28. Дендрограмма кластер-анализа валового содержания тяжелых металлов в конкрециях аллювиальных почв Среднего Предуралья, $n = 9$

Таким образом, железо-марганцевые и железистые конкреции аллювиальных почв Среднего Предуралья являются сорбционным геохимическим барьером для тяжелых металлов. При проведении гидротехнических мероприятий в поймах рек (осушение, орошение) следует учитывать, что мобилизация ТМ из конкреций, в результате изменения окислительно-восстановительных условий приведет к увеличению степени загрязненности почв и речных вод тяжелыми металлами.

5.3. Тяжелые металлы и показатели оксидогенеза

Показатели оксидогенеза и валовое содержание ТМ в аллювиальных почвах не всегда имеют положительную корреляцию. Можно отметить следующие закономерности. Содержание оксалоторастворимого железа и концентрация Mn, Ni, Zn, Rb, Y и As взаимосвязаны ($r = 0,20-0,91$) (таблица 23).

Концентрация окристаллизованного железа коррелирует с валовым содержанием Ni ($r = 0,32-0,51$), а величина критерия оксидогенеза железа ($Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$) – с содержанием марганца ($r = 0,31-0,54$). В загрязненных и относительно чистых почвах пойм закономерности взаимосвязи показателей оксидогенеза и ТМ имеют свои особенности.

В почвах пойм рек Камы и В. Мулянки в большей степени проявляется связь между содержанием $Fe_{\text{ОКР}}$, $Fe_{\text{ДИТ}}$, отношением $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$ и содержанием техногенных металлов – Zn, Ni, Cu ($r = 0,23-0,74$). Дитиониторастворимые формы Mn наиболее тесно связаны с содержанием Zn, Ni, Rb, Y, Ga и As ($r = 0,25-0,70$) в почвах поймы р. Камы. Большая удельная поверхность гидроксидов железа определяет их высокую адсорбционную способность по отношению к тяжелым металлам [191].

В почвах поймы р. Обвы окристаллизованное железо достоверно связано с валовым содержанием Ni, Mn и Sr ($r = 0,39-0,70$), а аморфные соединения железа активно концентрируют Zn, Cu, Ni, Rb, Y, Ga ($r = 0,31-0,91$). Активная роль гидроксидов железа в сорбции ТМ в кислых почвах подтверждается достоверной положительной корреляционной связью между содержанием $Fe_{\text{ОКС}}$ и отношением $Fe_{\text{ОКС}}/Fe_{\text{ДИТ}}$ с концентрацией подвижных форм Ni, Mn, Pb, Cd, Zn, Cu, Co и Sr ($r = 0,51-0,93$) (приложение 11).

Таблица 23

Коэффициенты парной корреляции (r) по Спирмену между показателями оксидогенеза Fe и Mn и валовым содержанием тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных почвах Среднего Предуралья

Пойма реки	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga
Магнитная восприимчивость											
Кама (n=15)	0,24	0,20	-0,19	0,23	0,19	0,39	0,59*	-0,12	-0,16	-0,18	-0,07
Обва (n = 13)	-0,50	0,20	0,80*	-0,28	-0,44	0,22	0,70*	0,61*	-0,44	-0,32	0,02
В. Мулянка (n = 21)	0,38	0,05	-0,32	0,08	0,04	0,43	0,32	0,26	0,24	0,23	-0,08
Fe _{ДИТ}											
Кама	0,23	0,23	-0,23	0,28	0,32	0,64*	-0,03	-0,02	0,58*	0,47	0,64*
Обва	-0,27	0,03	-0,31	-0,12	-0,27	0,74*	0,21	-0,27	-0,32	-0,32	-0,64
Мулянка	0,59*	0,02	-0,35	0,45	0,32	0,20	-0,78	0,22	0,34	0,34	-0,02
Fe _{ОКС}											
Кама	0,10	0,22	-0,02	0,17	0,24	0,43	-0,12	-0,13	0,39	0,26	0,65*
Обва	0,91*	0,24	-0,38	0,82*	0,87*	0,08	-0,81	-0,25	0,79*	0,73*	0,31
Мулянка	0,43	0,17	-0,51	0,12	-0,09	0,37	-0,76	0,46*	0,65*	0,40	-0,26
Fe _{ОКРИСТ}											
Кама	0,30	0,16	-0,40	0,32	0,30	0,67*	0,08	0,12	0,60*	0,54*	0,38
Обва	-0,56	-0,04	-0,18	0,39	-0,55	0,70*	0,47	-0,18	-0,57	-0,55	-0,73
Мулянка	0,30	-0,20	0,16	0,51*	0,59*	-0,19	-0,13	-0,28	-0,36	-0,02	0,31
Fe _{ДИТ} /Fe _{ВАЛ}											
Кама	-0,10	-0,17	-0,25	0,01	0,21	0,31	0,16	0,11	0,27	0,19	0,33

Обва	-0,64	-0,22	-0,21	-0,55	-0,64	0,54*	0,45	-0,32	-0,71	-0,69	-0,71
Мулянка	0,59*	-0,14	-0,36	0,46*	0,31	0,01	-0,68	-0,04	0,11	0,10	0,03
Пойма реки	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga
Fe _{ОКС} /Fe _{ДИТ}											
Кама	-0,16	0,06	0,27	-0,09	0,04	-0,19	-0,15	-0,21	-0,17	-0,24	0,16
Обва	0,91*	0,03	-0,21	0,62*	0,82*	-0,52	-0,87	-0,21	0,81*	0,74*	0,70*
Мулянка	0,32	0,21	-0,51	-0,01	-0,23	0,41	-0,67	0,50*	0,68*	0,39	-0,28
Mn _{ДИТ}											
Кама	0,42	0,70*	-0,06	0,49	0,25	-	-0,26	-0,12	0,62*	0,54*	0,65*
Обва	-0,27	0,22	-0,16	-0,13	-0,32	-	0,30	-0,17	-0,36	-0,32	-0,62
Мулянка	0,24	0,16	-0,50	-0,09	-0,11	-	-0,37	0,28	0,50*	0,40	-0,37

Примечание: * – достоверно при P = 0,95

Выявлен высокий достоверный уровень связи содержания Ni, Cu, Sr и Y ($r = 0,53-0,70$) с содержанием дитиониторастворимого марганца в конкрециях (приложение 12). Достоверная отрицательная корреляция отдельных показателей оксидогенеза и валового содержания ТМ свидетельствует о многообразии механизмов закрепления ТМ в железосодержащих фазах-носителях ТМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в монографии материалы позволяют сформулировать следующие обобщающие положения:

1. Окислительно-восстановительные условия оксидогенеза в поверхностных горизонтах аллювиальных почв характеризуются переменными временными, пространственными, внутрипрофильными значениями Eh: от умеренно-восстановительных – интенсивно-окислительных ($\text{lim} = 210-583$) в перегнойно-глеевых почвах до слабо восстановительных – интенсивно-окислительных ($\text{lim} = 323-724$) в серогумусовой типичной и слоистой почвах. Реакция почвенного раствора ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) зависит от состава аллювия и изменяется в широком интервале: в пойме р. Камы – от 3,9 до 6,5, а в пойме р. В. Мулянки – от 5,1 до 8,1.

2. Общие тенденции оксидогенеза железа как «процесса-механизма» в почвах пойм Среднего Предуралья заключаются в том, что в восстановительную фазу почвообразования происходит частичная редукция железа и марганца, а в фазу окисления образуются термодинамически нестабильные гидроксиды – марганецсодержащий фероксигит, ферригидрит и фероксигит, которые постепенно превращаются в тонкодисперсные педогенные фазы гетита и (или) гематита.

3. Оксидогенез железа в аллювиальных почвах как «процесс-результат» диагностируется по следующим основным признакам: а) доля несиликатных форм железа составляет 21-37% от валового; б) содержание сильноокристаллизованного железа – 28-85% от несиликатного; в) содержание аморфного и слабоокристаллизованного железа – 4-15% от валового. Образование термодинамически нестабильных гидроксидов железа сопровождается снижением магнитной восприимчивости почвы. Оксидогенез марганца проявляется в образовании Mn-фероксигита. Степень проявления оксидогенеза марганца ($\text{Mn}_{\text{ДИТ}}/\text{Mn}_{\text{ВАЛ}}$) составляет 31-62%, доля ок-

салаторастворимого Mn от валового – 17-60%. Оксидогенез марганца выражен в гораздо большей степени, чем оксидогенез железа, особенно в условиях переменного редокс-потенциала в верхних горизонтах почв пойм.

4. Оптические и химические показатели оксидогенеза взаимосвязаны. Краснота a^* почв и $Hem_{УСЛ}$ достоверно возрастают с увеличением содержания $Fe_{\text{ДИТ}}$, $Fe_{\text{ОКРИСТ}}$ и величины отношения $Fe_{\text{ДИТ}}/Fe_{\text{ВАЛ}}$. Железосодержащими пигментами почв пойм Среднего Предуралья, определяющими их краснотность, являются не только гематит, но и ферроксигит.

5. Железосодержащая фаза аллювиальных почв Среднего Предуралья концентрирует тяжелые металлы (Zn, Ni, Mn, Rb, Y, Ga) и As. Валовое содержание Cu, Cr, Ni, Zn, Mn и As в почвах пойм выше их кларков, содержания в зональных почвах и регионального фона. В напряженной и удовлетворительной экологической обстановке территории бассейнов рек Камы и Верхней Мулянки поллютантами аллювиальных почв являются As, Ni, Cu, Zn природно-техногенного происхождения. В условиях благоприятной экологической ситуации бассейна реки Обва происходит загрязнение аллювиальных почв As и Ni из техногенно-природных источников. Аллювиальные почвы Среднего Предуралья загрязнены подвижными формами Ni, Cd, Pb, Cu, их содержание тесно связано с концентрацией подвижных форм марганца.

6. Железистые конкреции аллювиальных почв являются формой интенсивного проявления оксидогенеза и чувствительными сорбционными барьерами для тяжелых металлов. Интенсивность конкреционного оксидогенеза марганца $I_{\text{МпДИТ}}$, $I_{\text{МпОКС}}$ выше, чем железа $I_{\text{FeДИТ}}$, $I_{\text{FeОКС}}$. В конкрециях преобладают окристаллизованные формы железа и марганца и, относительно вмещающей почвы, накапливаются $As > Ni > Cu > Y > Zn$.

7. Почвенно-агрохимическим и мелиоративным службам рекомендуется при проведении почвенных обследований

в поймах рек Среднего Предуралья использовать оптические показатели почв в системе $CIE-L^*a^*b^*$.

8. Природоохранным службам, при осуществлении мониторинга почв на территориях с разной экологической ситуацией южной тайги Среднего Предуралья, рекомендуется разместить реперные участки в пределах пойменных агроландшафтов малых и средних рек. Контролировать содержание тяжелых металлов в слое 0-100 см необходимо по модифицированной формуле Саета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева Т.Н. Современные и унаследованные свойства аллювиальных почв Окской поймы // Функции почв в биосферно-геосферных экосистемах. М. 2001. С. 261-262.
2. Агроклиматические ресурсы Пермской области. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 155 с.
3. Александровский А.Л. Этапы и скорость развития почв в поймах рек центра Русской равнины // Почвоведение. 2004. № 11. С. 1285-1295.
4. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агрометеиздат, 1987. 142 с.
5. Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Махер Б.А. Магнитные свойства и минералогия соединений железа в степных почвах // Почвоведение. 2003. № 1. С. 62-74.
6. Алексеев А.О. Оксидогенез железа в почвах степной зоны : автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. М., 2010. 48 с.
7. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990. 142 с.
8. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв: метод. рек. / под ред. В.А. Большакова. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1993. 74 с.
9. Андропова М.И. Стандартные цветовые шкалы для полевого определения и кодирования окраски почв. М.: ПКО «Картография», 1992. 12 с.
10. Антипов А.Н. Речные бассейны как полигоны экологического мониторинга // Опыт и методы экологического мониторинга. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1978. С. 22-26.
11. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
12. Афанасьева Т.В., Сумерин М.В., Шеремет Б.В. К вопросу о зональности пойменных почв // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 1983. № 1. С. 26-32.

13. Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б., Яблонских Л.А. Тяжелые металлы и радионуклиды в гидроморфных почвах лесостепи Русской равнины и их профильное распределение // Почвоведение. 1999. № 4. С. 435-444.
14. Бабанин В.Ф., Балабко П.Н., Верховцева Н.В., Палечек Л.А. Магнитная восприимчивость почв и аллювиальных отложений в пойме р. Оби // Почвоведение. 1982. № 5. С.133-136.
15. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О. [и др.] Магнетизм почв. Ярославль: ЯГТУ, 1995. 223 с.
16. Бабанин В.Ф., Иванов А.В., Пухов Д.Э. [и др.] Магнитные свойства конкреций подзолистой поверхностно-оглеенной почвы // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1224-1232.
17. Балабко П.Н. Развитие учения о пойменном почвообразовании и проблемы классификации пойменных почв // Почвоведение. 1990. № 9. С. 29-33.
18. Балабко П.Н. Микроморфология, диагностика и рациональное использование пойменных почв Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. М., 1991. 47 с.
19. Балабко П.Н., Авдеева Т.Н., Михалева А.Е. [и др.] Пойменные земли надо беречь // Земледелие. 1999. № 2. С. 20.
20. Балабко П.Н., Просяников Д.С. Сравнительное использование эколого-генетической и профильно-генетической классификации при изучении аллювиальных почв // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2010. № 3. С. 21-27.
21. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 280 с.
22. Бахнов В.К. Биогеохимия и агрохимия меди и марганца в Барабинской низменности // Медь, марганец и бор в ландшафтах Барабинской низменности и Новосибирского Приобья. Новосибирск, 1971. С. 10-54.

23. Беличенко М.В. Изменение свойств и водного режима почв поймы р. Москва под влиянием дренажа : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2000. 18 с.
24. Большаков В.А., Краснова Н.М., Борисочкина Т.И. [и др.]. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1993. 91 с.
25. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1997. 206 с.
26. Бусоргина Н.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как генетический и диагностический их показатель: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2002. 23 с.
27. Бутовский Р.О. Тяжелые металлы как техногенные химические загрязнители и их токсичность для почвенных беспозвоночных животных // Агрехимия. 2005. № 4. С. 73-91.
28. Быков В.Н., Димухаметов Д.М., Димухаметов М.Ш. Эколого-геологическая обстановка города. Пермь, 2001. 101 с.
29. Вадюнина А.Ф., Бабанин Ф.М. Магнитная восприимчивость некоторых почв СССР // Почвоведение. 1972. № 10. С. 55-66.
30. Варава О.А. Почвы речных долин городских территорий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 26 с.
31. Васильев А.А. Гидрологический режим, свойства и диагностика дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв на покровных отложениях Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1994. 19 с.
32. Введенская Н.В., Болонкин П.Ф., Голубев И.И. [и др.] Древние долины и аллювиальные отложения в среднем течении Камы // Аллювий. Пермь, 1968. Вып.1. С. 104-130.
33. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 238 с.

34. Владыченский С.А. Водно-физические свойства почв Волго-Ахтубинской поймы и Волжской дельты // Почвоведение. 1954. № 9. С. 34-45.

35. Власов М.Н. Загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв малых рек города Перми // Пермский агрохимический вестник. LXVII Всерос. научн-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (19-20 марта 2008 г.). Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». 2008. С. 61-63.

36. Водохранилище Воткинской ГЭС на р. Каме. Пермь, 1968. 120 с.

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

38. Водяницкий Ю.Н. Образование оксидов железа в почвах. М.: Наука, 1992. 276 с.

39. Водяницкий Ю.Н. Общие принципы (гидр)оксидогенеза железа и его реализация в почвах Русской равнины // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2003а. С. 242-267.

40. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2003б. 236 с.

41. Водяницкий Ю.Н. Оксиды марганца в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им В.В. Докучаева РАСХН, 2005. 96 с.

42. Водяницкий Ю.Н. Химия, минералогия и цвет оглеенных почв. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2006. 172 с.

43. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.

44. Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. М.: ГНУ Почвенный институт им В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010. 155 с.

45. Водяницкий Ю.Н., Никифорова А.С., Зайдельман Ф.Р. Магнитная восприимчивость конкреций почв юга таежной зоны // Почвоведение. 1997. № 12. С. 1445-1453.
46. Водяницкий Ю.Н., Шишов Л.Л. Изучение некоторых почвенных процессов по цвету почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2004. 85 с.
47. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Гилев В.Ю. Превращение (гидр)оксидов железа в почвах на красноцветных отложениях Предуралья // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева РАСХН. 2007. Вып. 59. С. 42-49.
48. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н. Магнитная восприимчивость аллювиальных почв Воткинского водохранилища в пределах г. Перми // Известия Самарской ГСХА. 2007. № 4. С. 37-40.
49. Вологжанина Т.В., Москвитин Н.А., Бутенко В.Ф. Природно-климатические условия и почвенный покров Пермской области // Приемы повышения плодородия почв северо-востока Нечерноземной зоны. Пермь, ПСХИ. 1985. С. 3-6.
50. Волошина Г.В., Тонких З.В. Содержание тяжелых металлов в пойменных почвах реки Понура // Труды Кубанского госуд. аграрного ун-та. 2007. № 6. С. 94-98.
51. Воронков П.П. Основные факторы и закономерности формирования химического состава воды малых водоемов // Труды ГГИ, 1963. Вып. 102. С. 120-135.
52. Ворончихина Е.А., Ларионова Е.А. Основы ландшафтной хеомоэкологии. Пермь: 2002. 146 с.
53. Габбасова И.М. Окислительно-восстановительный режим в осушенных пойменных почвах северной лесостепи Башкирии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1980. 17 с.
54. Гантимуров И.И., Зайцева Т.Ф. К характеристике окислительно-восстановительного состояния почв поймы Оби в связи с условиями увлажнения // Специфика почвообразования в Сибири. Новосибирск, 1979. С. 134-143.

55. Геология СССР. Том XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Часть I. Геологическое описание. Книга 1 / под ред. А.В. Сидоренко. М., Недра, 1970. 724 с.

56. Гилев В.Ю. Оксидогенез и редуктогенез в почвах на элювии и делювии пермских глин Среднего Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2007. 22 с.

57. Гипергенные окислы железа в геологических процессах. М. Наука, 1975. 206 с.

58. Глазков О.В. Исследование цветовых характеристик глиносодержащих материалов и фарфора на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 2005. 24 с.

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

60. ГН 6229-91 Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Введ. 1991-11-19. М.: Изд-во стандартов. 6 с.

61. ГН 2.1.7.2041-06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Введ. 2006-04-01. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 7 с.

62. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Введ. 2009-07-01. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 7 с.

63. Горбунов Н.И., Дзядзевич Г.С., Туник Б.М. Методы определения несиликатных аморфных и кристаллических полуторных окислов в почвах и глинах // Почвоведение. 1961. № 11. С. 103-111.

64. ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) и микроагрегатно-

го состава. Введ. 1980-07-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 26 с.

65. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Введ. 1993-07-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1991. 7 с.

66. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Введ. 1986-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. 10 с.

67. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Введ. 1986-07-01. М. Изд-во стандартов, 1985. 6 с.

68. ГОСТ 27821-88 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. Введ. 1990-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1988. 7 с.

69. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Введ. 1990-01-01. М.: Стандартиформ, 2005. 8 с.

70. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 1985-07-01. М.: Стандартиформ, 2005. 19 с.

71. ГОСТ Р 50684-94 Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Введ. 1995-07-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1994. 14 с.

72. Груздкова Р.А. Эколого-генетические особенности аллювиальных луговых почв таежно-лесной зоны (на примере пойм рек Москвы, Камы, Оби): автореф. дис. ...канд. биол. наук. М., 1994. 20 с.

73. Гущина А.М. Почвы поймы р. Моломы // Приемы повышения плодородия почв северо-востока Нечерноземной зоны. Пермь: ПСХИ. 1985. С. 40-47.

74. Гынинова А.Б., Корсунов В.И., Бешенцев А.Н. [и др.] Аккумуляция веществ на геохимических барьерах в дельте Селенги // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 65-69.
75. Данилова М.М. Геоботанические районы Пермской области // Докл. IV Всеурал. совещ. по физико-географ. и экономико-геогр. районированию Урала. Т.1. Пермь, 1958. Вып. 1. С. 1-6.
76. Двинских С.А., Зуева Т.В., Тереханова Т.А. Оценка экологической ситуации в Пермской области // География и природные ресурсы. 2007. № 1. С. 43-51.
77. Двинских С.А., Зуева Т.В. Экологическое состояние малых рек города Перми // Географический вестник. 2011. № 2. С. 32-43.
78. Дмитраков Л.М., Дмитракова Л.К. Изменение микроэлементного состава пойменных почв при колебании антропогенной нагрузки // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 1. С. 32-36.
79. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 328 с.
80. Добровольский В.В. География микроэлементов, глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
81. Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. № 4. С. 431-444.
82. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 400 с.
83. Добровольский В.В. Минералого-геохимические провинции почвообразующих пород Русской равнины // Геохимия почв и ландшафтов. М.: Научный мир, 2009. С. 111-118.
84. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 296 с.

85. Добровольский Г.В., Терешина Т.В. Марганцовисто-железистые новообразования // Почвоведения. 1970. № 12. С. 16-25.

86. Добровольский Г.В., Терешина Т.В. О биологическом генезисе марганцовисто-железистых новообразований в почвах южной тайги // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 1976. № 3. С. 78-87.

87. Добровольский Г.В., Светлова Е.И., Соколова Т.А. [и др.] Морфогенетические особенности дерново-подзолистых пестроцветных почв Предуралья // Почвоведение. 1992. № 5. С. 15-26.

88. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во Московского университета, 2005. 290 с.

89. Дриц В.А., Горшков А.И., Сахаров Б.А. [и др.] Ферригидрит и его фазовые превращения при нагревании в окислительной и восстановительной обстановках // Литология и полезные ископаемые. 1995. № 1. С. 76-84.

90. Дуров Н.М., Коровушкин В.В., Подгородецкий Г.С. [и др.] Оценка и прогнозирование ветрового разноса загрязняющих веществ в зоне влияния металлургических предприятий // Изв. Высш. Учебн. Заведений. Черная металлургия. 2009. № 3. С. 57-61.

91. Егоркина С.С. Горизонтальные русловые деформации рек Пермского Прикамья: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь: Изд-во ПГУ, 2004. 17 с.

92. Егоров Д.Н. Оценка степени оглеения почв по их цветовой гамме и совокупности физико-химических свойств: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 21 с.

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

94. Загурский А.М. Специфика микростроения и генезиса магнитных соединений железа в почвах: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2008. 25 с.
95. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука, 1974. 199 с.
96. Зайдельман, Ф.Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М.: Колос, 1975. 320 с.
97. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР. Л.: Колос, 1981. 168 с.
98. Зайдельман Ф.Р. Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 328 с.
99. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Издательство МГУ, 1998. 316 с.
100. Зайдельман Ф.Р. Гидроморфные почвы // Почвоведение. 2003. № 8. С. 911-920.
101. Зайдельман Ф.Р. Овальные железистые конкреции проблематичного генезиса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение.– 2005. № 1. С. 10-12.
102. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 216 с.
103. Злобина Л.И. Магнитные и терромагнитные свойства некоторых типов почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1986. 17 с.
104. Золотарева Б.Н. Тяжелые металлы в почвах Верхнеокского бассейна // Почвоведение. 2003. № 2. С. 173-182.
105. Зонн С.В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 207 с.
106. Иванов А.В. Магнитное валентное состояние железа в твердой фазе почв: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. М.: МГУ, 2003. 41 с.
107. Изерская Л.А., Воробьева Т.Е. Формы соединений тяжелых металлов в аллювиальных почвах Средней Оби // Почвоведение. 2000. № 1. С. 56-62.

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

109.Ильина Л.С., Гендлер Т.С., Лежава В.В. Фазовый состав соединений железа в почвах и гидротермальных отложениях Абхазии в связи с проблемами латеритообразования // Почвоведение. 1996. № 6. С. 763-774.

110.Ишкова И.В., Русакова Е.С., Толпешта И.И. [и др.] Почвы склона и поймы ручья в Центрально-Лесном заповеднике: некоторые химические свойства и состав глинистых минералов // Вестн. Моск. ун-та. Сер.17. 2010. № 3. С. 3-9.

111.Кабата-Пендиас А., Пендиас Р. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 436 с.

112.Караванова Е.И. Оптические свойства почв и их природа. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 152 с.

113.Карманов И.И. Спектральная отражающая способность и цвет почв как показатели их свойств. М.: Колос, 1974. 351 с.

114.Карманова Л.А. Общие закономерности соотношения и распределения форм железа в основных генетических типах почв // Почвоведение. 1978. № 7. С. 49-61.

115.Карпушенков В.В. Агрофизические свойства и гидротермический режим почв тяжелого механического состава Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ленинград-Пушкин, 1984. 16 с.

116.Кауричев И.С. Типы окислительно-восстановительного режима почв // Почвоведение. 1979. № 3. С. 35-45.

117.Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982. 247 с.

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

- 119.Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В.Н. Фридланд, Е.Н. Иванова [и др.] М.: Колос, 1977. 224 с.
- 120.Ковда В.А. Основы учения о почвах. Ч. 2. М.: Наука, 1973. 468 с.
- 121.Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
- 122.Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. 490 с.
- 123.Ковриго В.П., Безносков А.И. Почвенно-климатическая и агроэкологическая характеристика Удмуртской Республики как основа адаптивно-ландшафтного земледелия // Научные основы адаптивно-ландшафтного земледелия Удмуртской Республики. Ижевск, 2003. С. 17-52.
- 124.Козловский Ф.И., Корнблум Э.А. Мелиоративные проблемы освоения пойм степной зоны. М.: Наука, 1972. 535 с.
- 125.Комлев А.М., Черных Е.А. Реки Пермской области. Пермь: Кн. изд-во, 1984. 214 с.
- 126.Комплексная химическая характеристика почв Нечерноземья / под ред. Д.С. Орлова. М.: Изд-во МГУ, 1987. 182 с.
- 127.Коновалова О.А. Геохимические особенности техногенных аномалий в почвогрунтах на нефтяных месторождениях Удмуртии // Разведка и охрана недр. 2005. № 8. С. 34-39.
- 128.Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. 2011. Вып. 1. С. 26-37.
- 129.Кораблева Л.И. Динамика почвенных процессов и эффективность удобрений в пойменных почвах верхнего течения реки Оки // Пойменные почвы Русской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1963. С. 26-76.

130.Кораблева Л.И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны. М.: Наука, 1969. 277 с.

131.Коробейникова Г.И., Судницын И.И. Гидрологические и гидрофизические свойства торфяных почв // Почвоведение. 1989. № 12. С. 135-140.

132.Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь, 1962. 278 с.

133.Костенков Н.М. Окислительно-восстановительный режим в почвах периодического переувлажнения. М.: Наука, 1987. 191 с.

134.Крутилина Н.А. Прогноз изменения некоторых свойств пойменных почв при увеличении степени гидроморфизма: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1992. 22 с.

135.Кузнецов В.А. Геохимия речных долин (научные и прикладные аспекты исследований). Минск: Наука и техника, 1986. 303 с.

136.Кузнецов М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1994. 287 с.

137.Кузьменко И.Т., Романова П.Н., Балабко П.Н. Формы соединений железа в пойменных почвах центра Русской равнины // Биологические науки. 1983. № 11. С. 92-96.

138.Курматов А.А. Особенности свойств и режимов почв Москворецкой поймы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Рос. ун-т дружбы народов, 2004. 19 с.

139.Лесовая С.Н. Генезис и география почв на красноцветных породах европейской территории России: автореф. дис. ... д-ра. географ. наук. СПб., 2006. 34 с.

140.Лесовая С.Н., Гойло Э.А., Чижикова Н.П. Минералогический состав красноцветных отложений и его влияние на почвообразование в северотаежной подзоне европейской территории России // Почвоведение. 2005. № 8. С. 1001-1011.

141. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 270 с.

142. Лобанова Е.С. Магнитная восприимчивость и эколого-геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий восточной окраины Русской равнины (на примере г. Перми): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2013. 24 с.

143. Лютин А.А. Почвы поймы р. Сылвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пермь, 1956. 20 с.

144. Мажайский Ю.А. Особенности распределения тяжелых металлов в профилях почв Рязанской области // Агрохимия. 2003. № 8. С. 74-79.

145. Македонов А.В. Современные конкреции в осадках и почвах и закономерности их географического распространения. М.: Наука, 1966. 284 с.

146. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне М.: Геогр. фак. МГУ, 2003. 355 с.

147. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.

148. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Микроэлементный состав взвешенных осадков малых рек на территории г. Перми // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. Пермь: Перм. ун-т, 2004. С. 287-290.

149. Мергелов Н.С. Почвообразование, почвенный покров и запасы углерода в Колымских тундрах и редколесьях: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М., 2007. 29 с.

150. Минкина Т.М. Соединения тяжелых металлов в почвах Нижнего Дона, их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. М.: Ростов-на-Дону, 2008. 34 с.

151. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. М.: Наука, 1986. 118 с.

152.Можарова Н.В, Пронина В.В., Иванов А.В. [и др.]. Формирование магнитных оксидов железа в почвах над подземными хранилищами газа // Почвоведение. 2007. № 6. С. 707-720.

153.Морозов В.В. Изоморфные замещения и другие магнито-минералогические особенности соединений железа в зоне гипергенеза: автореф. дис. ... д-ра. физ.-мат. наук. Ярославль, 2006. 40 с.

154.Морозов В.В., Бабанин В.Ф., Шоба С.А. Микроморфология и формы соединений железа конкреций пойменных почв по данным ядерного гамма-резонанса и растровой электронной микроскопии // Доклады высшей школы. Биол. науки. 1984. № 7. С. 91-98.

155.Морозов В.В., Бабанин В.Ф., Иванов А.В. [и др.] Формы соединений железа в почвах на красноцветных пермских отложениях по данным мессбауэровской спектроскопии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 1987. № 4. С. 8-14.

156.Московченко Д.В. Ландшафтно-геохимические особенности приполярного и северного Урала // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2010. № 10. С. 197-209.

157.Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 168 с.

158.Мурашкина М.А., Копцик Г.Н., Саузард Р.Дж. Соединения железа, алюминия, кремния, марганца в почвах лесных экосистем таежной зоны // Почвоведение. 2004. № 1. С. 40-49.

159.Назаров Н.Н., Шарыгин М.Д. География. Пермская область. Пермь: Изд-во «Книжный мир», 1999. 243 с.

160.Назаров Н.Н. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь: ИПК Звезда, 2004. 155 с.

161.Назаров Н.Н., Сунцов А.В. Геохимические горизонты и микроэлементный состав донных отложений Воткинского

водохранилища // Географический вестник. 2008. № 2. С. 26-36.

162.Нешатаев Б.Н. Некоторые особенности пойменных почв Пермского Прикамья и способы их мелиорации // Свойства и рациональное использование пахотных почв Предуралья. Пермь, 1989. С. 30-34.

163.Никифорова А.С. Железистые новообразования почв южно-таежной подзоны Европейской территории России генезис, свойства, диагностическое значение: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. М.: МГУ, 1997. 43 с.

164.Николаева С.А., Еремина А.М. Трансформация соединений железа в черноземах в условиях повышенной увлажненности почв // Почвоведение. 2001. № 8. С. 963-969.

165.Обыденова Л.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель агроэкологической оценки их свойств: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2003. 23 с.

166.Овеснов С.А., Ефимик В.Г., Козьминых Т.В. [и др.]. Иллюстрированный определитель растений Пермского края. Пермь: Книжный мир, 2007. 742 с.

167.Овчаренко М.М., Шильников И.А., Вендило Г.Г. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. М.: Пролетарский светоч, 1997. 290 с.

168.Орлов Д.С., Джиндил А.Р. Окислительно-восстановительный режим некоторых почв дерново-подзолистой зоны // Агрохимия. 1974. № 3. С. 63-72.

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

170.Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А. Миграция техногенных компонентов в речных долинах и ее влияние на состояние экосистем // Вестник Пермского ун-та, 1996. Вып.4. Экология. С. 113-128.

171.Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А. Природно-техногенные осадки. Пермь: Пермский ун-т, 2006. 208 с.

172.Паспорт санитарно-технического состояния реки Верхняя Мулянка. Пермь: Пермгипрорводхоз, 1989. 50 с.

173.Паутов А.И. К вопросу о строении речных долин Пермской области // Труды ПСХИ. Пермь, 1958. Т. XVI. С. 58-76.

174.Паутов А.И. О формах кислотности в аллювиальных почвах северных рек Пермской области // Тез. докл. II регион. совещ. почвоведов северо- и среднетаежной подзон Европейской части СССР. Сыктывкар, 1972.

175.Паутов А.И. Особенности осадконакопления и поймообразования у рек Северного и Среднего Предуралья // Труды ПСХИ. Пермь, Т. 120. 1977. С. 13-17.

176.Паутов А.И. Повышение плодородия кислых пойменных почв путем их известкования // Окультуривание почв Нечерноземной зоны в условиях ускоренной интенсификации сельского хозяйства. Л., 1977. С. 150-151.

177.Паутов А.И. Микроэлементы в пойменных почвах Башкирской АССР и Пермской области // Приемы повышения плодородия почв Северо-востока Нечерноземной зоны. Пермь: ПСХИ, 1985. С. 61-69.

178.Паутов А.И. Почвы долины и поймы реки Иньва, их свойства и возможности сельскохозяйственного использования // Тез. докл. Пермь: ПСХИ, 1988. С. 45-46.

179.Паутов А.И. Свойства наилок северных рек Пермской области // Плодородие и мелиорация почв Нечерноземья. Пермь: ПГСХА, 1991. С. 17-28.

180.Паутов А.И. Происхождение и свойства аллювиальных почв поймы реки Вишеры // Агрометеорологические условия и агротехнические факторы повышения урожайности полевых культур в Предуралье. Пермь: ПГСХА, 1996. С. 32-44.

181.Паутов А.И. Особенности формирования и свойства аллювиальных почв островной поймы реки Вишера // Пермский аграрный вестник. Пермь: ПГСХА, 1998. Вып. 2. С. 55-57.

182. Паутов А.И. Свойства речных наилок центрального Предуралья // Пермский аграрный вестник. Пермь: ПГСХА, 2000. Вып. IV. Ч. 1. С. 236-241.

183. Паутов А.И. Особенности формирования высокой поймы у рек Пермской области // Пермский аграрный вестник. Пермь: ПГСХА, 2001. Вып. VI. Ч. 1. С. 80-85.

184. Паутов А.И., Фролова С.О. Происхождение и свойства аллювиальных почв поймы реки Сивы // Плодородие и мелиорация почв Нечерноземья. Пермь, 1991. С. 4-17.

185. Переломов Л.В. Факторы иммобилизации тяжелых металлов в серых лесных и аллювиальных почвах Среднерусской возвышенности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 2001. 16 с.

186. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.

187. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.

188. Пермская область: отрасли, регионы, города / под ред. акад. РАЕН М.Д. Шарыгина. Пермь, Пермский университет, 1997. 262 с.

189. Пермяков Ф.И. Почвы Удмуртии, повышение их плодородия. Ижевск: Удмуртия, 1972. 223 с.

190. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Т. 1. Пермь, 1966. 198 с.

191. Пивоваров С.А. Адсорбция ионов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ca^{2+} , Na^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) на (гидр)оксидах трехвалентного железа // Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий / под. ред. В.А. Жарикова, В.В. Федькина. М.: Наука, 2004. С. 255-272.

192. Пинский Д.Л. Ионообменные процессы в почвах. Пушкино, 1997. 341 с.

193. Плюснин И.И., Лобанова Т.А., Берниковская И.А. Пойменные почвы Раменского расширения р. Москвы // Докл. ТСХА. 1960. Вып. 56. С. 75-90.

194.Пляскина О.В., Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в гранулометрических фракциях некоторых типов почв // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2005. № 4. С. 36-43.

195.Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 183 с.

196.Попов Ю.К. Почвы пойм рек Среднего Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пермь, 1967. 19 с.

197.Попов Ю.К. Пойменные почвы реки Обвы // Вопросы агрохимии и почвоведения. Пермь: ПГСХИ, 1968. Т. 43. С. 14-24.

198.Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации / Коллектив авторов; под ред. Л.Л. Шишова, Н.В. Комова, А.З. Родина, В.М. Фридланд. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2001. 400 с.

199.Почвы Московской области и их использование. Т. 1. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2002. 500 с.

200.Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / Под ред. академика ВАСХНИЛ А.Н. Каштанова.. М.: Колос, 1983. 336 с.

201.Пронина В.В. Формирование магнитных оксидов железа в почвах при подземном хранении природного газа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2007. 27 с.

202.Протасова Н.А., Щербаков А.П. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // Почвоведение. 2004. № 1. С. 50-59.

203.Пухов Д.Э. Роль микроорганизмов в формировании сильномагнитных почвенных новообразований: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2002. 24 с.

204.Пушкин А.И. Геохимия оксидогенеза железа и марганца в почвах с господством окислительной обстановки [Электронный ресурс] // Тезисы научной конференции Ломоносовские чтения. Секция геология. 2008. Режим доступа:

<http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1181069&uri=pushkin.html>
(Дата обращения: 15.12.2011 г.).

205.РД 52.18.289-90 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Введ. 1991-06-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1990. 4 с.

206.Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2: Средний Урал и Приуралье. Вып. 1: Кама / под ред. В.В. Николаенко. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 324 с.

207.Рогова О.Б. Медь и цинк в почвах зоны влияния Череповецкого комбината в связи с содержанием в них техногенных оксидов железа: автореф. дис.... канд. биол. наук. М., 2010. 27 с.

208.Рожков В.А. Почвенная информатика. М.: Агропромиздат, 1989. 220 с.

209.Росликова В.И. Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 292 с.

210.Рохмистров В.Л., Иванова Т.Г. Изменение дерново-подзолистых почв в условиях крупного промышленного центра // Почвоведение. 1985. № 5. С. 71-76.

211.Саакян В.Г. Окислительно-восстановительные режимы автоморфных и гидроморфных почв Нечерноземной зоны их влияние на органическое вещество: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 24 с.

212.Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. [и др.]. Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв // Почвоведение. 2004. № 6. С. 702-712.

213.Савич В.И., Ларешин В.Г., Дубенок Н.Н. [и др.]. Мелиоративная и агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв. М.: Изд-во РУДН, 2006. 482 с.

214.Савич В.И., Сюняев Н.К., Батанов Б.Н. [и др.]. Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния и оглеения почв. М.: ФГОУ ВПО РГАУ МСХА имени К.А. Тимизярева, 2008. 270 с.

215.Савичев А.Т., Сорокин С.Е. Рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный анализ макроэлементов в почвах с использованием реперного элемента // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1452-1457.

216.Саэт Ю.Е., Янин Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод. М.: ИМГРЭ, 1985. 48 с.

217.Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. [и др.]. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

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

219.Сердобольский И.П. Методы определения рН и ОВП. // Агрохимические методы исследования почв. М.: АН СССР, 1960. С. 224-242.

220.Середина В.П., Харахордин В.Н., Непотребный А.И. Эколого-геохимические трансформации почв нефтезагрязненных экосистем южной тайги Западной Сибири // Почвы Сибири: генезис, география, экология и рациональное использование. Новосибирск, 2007. С. 156-157.

221.Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14. М., 2004. С. 7-33.

222.Смирнов Ю.А. Магнитные свойства почв и их связь с формами соединений железа в почвах: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1978. 22 с.

223.Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. 288 с.

224.Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 2002 г / Управление по охране окружающей среды Пермской области. Пермь, 2003. 136 с.

225.Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 2003 г. / Управление по охране окружающей среды Пермской области. Пермь, 2004. 190 с.

226.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: 20.12.2011).

227.Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 2005 г. / Управление по охране окружающей среды Пермской области. Пермь, 2006. 229 с.

228.Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2008 г. [Электронный ресурс] / Управление по охране окружающей среды Администрации Пермского края. Пермь, 2009. Режим доступа: URL: <http://www.permecology.ru> (Дата обращения: 20.12.2011).

229.Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2009 г [Электронный ресурс] / Управление по охране окружающей среды Администрации Пермского края. Пермь, 2010. Режим доступа: URL: <http://www.permecology.ru> (Дата обращения 20.12.2011).

230.Страдина О.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель их загрязнения тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2008. 20 с.

231.Сумерин М.В. Зональные особенности почв поймы реки Оби: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1987. 25 с.

232.Тах И.П. Пространственное распределение и нормирование концентраций тяжелых металлов в водной экосистеме:

река Белая, Северо-Западный Кавказ: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Майкоп, 2007. 24 с.

233. Техногенное загрязнение речных экосистем / Под ред. В.Е. Райнина, Г.Н. Виноградовой. М. : Научный мир, 2002. 139 с.

234. Тимофеева Я.О., Голов В.И. Железо-марганцевые конкреции как накопители тяжелых металлов в некоторых почвах Приморья // Почвоведение. 2007. № 12. С.1463-1471.

235. Тимофеева Я.О., Голов В.И. Аккумуляция микроэлементов в ортштейнах почв (обзор литературы) // Почвоведение. 2010. № 4. С. 434-440.

236. Трухина Л.Ф. Почвы пойм малых рек и пути повышения их плодородия и производительности (На примере Ивановской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1988. 23 с.

237. Ульяночкина Т.И. Морфология и систематика марганцево-железистых новообразований в аллювиальных почвах южной тайги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1990. 25 с.

238. Урушадзе А.Т. Аллювиальные почвы Восточной Грузии // Почвоведение. 2005. № 1. С. 38-46.

239. Филатов М.М. География почв СССР. М.: Учпедгиз, 1945. 343 с.

240. Химическое загрязнение почв и их охрана // Под ред. Орлова Д.С. [и др.]. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

241. Чапыгина Н.В. Геохимия северотаежных ландшафтов и индикаторная роль железа: на примере Северодвинско-Мезенского междуречья: автореф. дис. ...канд. геогр. наук. Москва, 2006. 17 с.

242. Чашин А.Н. Оксиды железа и тяжелые металлы в загрязненных металлургическим производством почвах г. Чусовой (Среднее Предуралье): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2010. 26 с.

243. Чеботарев А.И. Гидрогеологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.
244. Чепалыга А.А., Чепалыга Г.И. Регионы России. М.: Дашков и К°, 2004. 100 с.
245. Чернов А.В. Геоморфология равнинных рек. М.: Изд-во МГУ, 1983. 198 с.
246. Чернов В.П. Элювий пермских глин Пермской области // Вопросы почвоведения. Пермь, 1971. Т. 87. С. 43-52.
247. Чернов Д.В., Шабанов М.В. Анализ распределения групп и форм железа в дерново-подзолистых суглинистых почвах постагрогенной трансформации // Доклады РАСХН, 2007. № 4. С. 36-38.
248. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. М.: Агроконсалт, 1999. 176 с.
249. Чувашов Б.И., Юпина Г.В., Мизенц Г.А. [и др.]. Опорные разрезы верхнего карбона и нижней перми западного склона Урала и Приуралья. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 368 с.
250. Чухров Ф.В., Горшков А.И., Тюрюканов А.Н. [и др.] К геохимии и минералогии марганца и железа в молодых продуктах гипергенеза // Изв. АН СССР. Сер. Геология, 1980. № 7. С. 5-24.
251. Чухров Ф.В., Горшков А.И., Дриц В.А. [и др.] Отображение генезиса океанических корок и конкреций в кристаллохимии окислов марганца // Изв. АН СССР. Сер. Геология 1990. № 2. С. 91-102.
252. Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Труды Ин-та геологических наук АН СССР. Вып. 135. Сер. Геология. 1951. 275 с.
253. Шепелев А.И. О методологии и методике исследования аллювиальных почв // Сибирский экологический журнал. 1995. № 4. С. 338-343.

254.Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Пресные подземные воды Пермской области. Пермь: Пермск. книжн. изд-во, 1973. 197 с.

255.Шихова Л.Н. Содержание и динамика тяжёлых металлов в почвах Северо-Востока европейской части России: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук. Киров, 2005. 35 с.

256.Шишкин М.А., Лаптева А.К. Эколого-геохимический анализ современных ландшафтов Прикамья. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 385 с.

257.Шишов С.А. Минералогические и органические компоненты аллювиальных почв центральной поймы р. Ока: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2007. 23 с.

258.Шкляев А.С., Балков В.А. Климат Пермской области. Пермь: Книжное изд-во, 1963. 191 с.

259.Шраг В.И. Пойменные почвы и их сельскохозяйственное использование. М.: АН СССР, 1954. 112 с.

260.Шоба С.А., Балабко П.Н. Микростроение и состав марганцево-железистых новообразований почв лесной зоны // Микроморфологическая диагностика почв и почвообразовательных процессов. М.: Наука, 1983. С. 21-33.

261.Щеткова Е.А., Кайгородов А.Т., Леснов А.Е. Мониторинг пахотных почв и сельскохозяйственной продукции в окрестности нефтеперерабатывающих предприятий // Экология и промышленность России. 2010. С. 55-56.

262.Элементарные почвообразовательные процессы. Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика / Н.А. Караваева [и др.]. М.: Наука, 1992. 183 с.

263.Яблонских Л.А. О применении закона аналогичных топографических рядов почв при исследовании почвенного покрова речных долин // Вестник ВГУ. Серия химия, биология. 2001. № 1. С. 123-126.

264.Янин Е.П. Техногенез и эколого-геохимические аспекты аллювиального осадконакопления в реках промышленно-

урбанизированных территорий // Геологический вестник центральных районов России. 1999. № 4. С. 41-47.

265. Янин Е.П. Источники и пути поступления тяжелых металлов в реки агроландшафтов. М.: ИМГРЭ, 2004. 39 с.

266. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. Основы минералогии гипергенеза. Владивосток: Дальнаука, 2000. 331 с.

267. Barron V., Torrent J. Use of the Kulbeka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color // J. Soil Science. 1986. V. 37. P. 499-510.

268. Bartlett R.J., Sparks D.L. Soil redox behavior. In Soil Physical Chemistry // CRC Press, Boca Raton. 1986. P. 179-287.

269. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of elements. New York: Academic press, 1979. 333 p.

270. Drits V.A. Electron diffraction and high-resolution electron microscopy of mineral structures. Heidelberg; N.Y.: Springer, 1987. 304 p.

271. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B. et al. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review // The Science of the total environment. 2009. Jun 15. P. 72-85.

272. Fitzpatrick R.W. Al-substituted goethite an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa // Geoderma. 1982. V. 27. P. 335-347.

273. Frohne T., Rinklebe J., Diaz-Boneb R. A. et al. Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on metal mobilization and biomethylation of arsenic and // Geoderma. 2011. V.160. I. 3-4. P. 414-424.

274. Galvez N., Barron V., Torrent J. Effect of phosphate on crystallization of hematite, goethite and lepidocrocite from ferrihydrite // Clays and Clay Mineral. 1999. V. 47. № 3. P. 304-311.

275. Ghiorse W.C., Ehrlich H.L. Microbial biomineralization of iron and manganese // Biomineralization processes of Fe and Mn. Catena Suppl. 1992. V. 21. P. 75-99.

276.Hansen H.C.B., Borggaard O.K., Sorensen J. Evaluation of the free energy of formation of iron(II)iron(III)-hydroxide-sulphate (Green Rust) and its reduction of nitrite // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1994. V. 58. P. 2599-2608.

277.Krüger F., Meissner R., Gröngröft A., Grunewald K. Flood Induced Heavy Metal and Arsenic Contamination of Elbe River Floodplain Soils // *Clean soil, air, water*. 2005. V. 33. I. 5. P. 455-465.

278.Lewis D.G. Factors influencing the stability and properties of Green Rusts // *Adv. GeoEcology*. Reiskirchen. 1997. V. 30. P. 345-372.

279.Lindsay W.L. Solubility and redox equilibria of iron compounds in soil // *Iron in soils and clay minerals*. Dordrecht : Reidel, 1988. P. 99-140.

280.Lovley D.R. Dissimilatory Fe III and Mn IV reduction // *Microbiol. Rev.* 1991. V. 55. № 2. P. 259-287.

281.Lovley D.R., Phillips E.J.P. Availability of sediment ferric iron for microbial reduction in bottom sediments of the freshwater tidal Potomac River // *Appl. Environ Microbiol.* 1986. V. 52. P. 751-757.

282.Maher B.A., Taylor R.M. Formation of ultra-fine grained magnetite in soils // *Nature*. 1988. V. 336. P. 368-370.

283.Maher B.A., Thompson R. Paleoraifall reconstructions from pedogenic magnetic susceptibility variations in the Chinese loess and paleosols // *Quaternary research*. 1995. V. 44. P. 383-391.

284.Mann S., Sparks N.H.C., Couling S.B. et al. Crystallochemical characterization of magnetic spinals prepared from aqueous solution // *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 1989. V. 85. P. 3033-3044.

285.Martin C.W. Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany // *Catena*. 2000. V. 39. I. 1. P. 53-68.

286. Martinez C.E., McBride M.B. Coprecipitates of Cd, Cu, Pb and Zn in iron oxides: solid phase transformation and metal solubility after aging and thermal treatment // *Clays and Clay Mineral.* 1998. V. 46. № 5. P. 537-545.

287. McKenzie R.M., Dixon J.B., Weed S.B. Manganese oxides and hydroxides Mineral in Soils // *Soils Science Society of America, Madison, Wisconsin.* 1989. P. 439-465.

288. Middelkoop H. Heavy-metal pollution of the river Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands // *Netherlands Journal of Geosciences.* 2000. V. 79 (4). P. 411-428.

289. Pye K., Dickson J.A.D., Schiavon N. et al. Formation of siderite-Mg-calcite-iron-sulphide concretions in intertidal marsh and sandflat sediments, north Norfolk, England // *Sedimentology.* 1990. V. 37. P. 325-343.

290. Roden E.E., Urrutia M.M. Influence of biogenic Fe(II) on bacterial crystalline Fe(III) oxide reduction // *Geomicrobiology J.* 2002. V. 19. P. 209-251.

291. Scheinost A.C., Schwertmann U. Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: use and limitations // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1999. V. 63. P. 1463-1471.

292. Schwertmann U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch photochemische Extraktion mit Saurer Ammoniumoxalat-Lösung // *Z. Pflanzernähr., Düng und Bodenk.* 1964. Bd. 195. S. 194-202.

293. Schwertmann U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenviroment // *Iron in soil and clay minerals.* Dordrecht : Reidel, 1988. P. 267-308.

294. Schwertmann U., Taylor R.M. Iron // *Minerals in soil environments.* Madison (Wis.). 1989. P. 379-438.

295. Taylor R.M. Formation and properties of Fe(II)-Fe(III)hydroxy-carbonate and its possible significance in soil formation // *Clays and Clay Mineral.* 1980. V. 15. P. 369-382.

296. Torrent J., Barron V. Diffuse reflectance spectroscopy of iron oxides // Encyclopedia of surface and Colloid Science, 2002. P. 1438-1446.

297. Trolard F., Abdelmoula M., Bourrie G. Occurrences and seasonal transformations of green rusts <fougerite> mineral and lepidocrocite in soils // 16-th World Congress Soil Sci. Montpellier, France, 1998. Sum. V. 1. P. 450.

298. Tuchman M. Sediment Assessment and Remediation Report. Sheboygan River Food Chain and Sediment Contaminant Assessment [Electronic resource]. 2000. Mode of access: <http://www.epa.gov/glnpo/sediment/FoodChain/index.html>. 17.11.2011.

299. Weinberg E.D. Microorganisms and Minerals. Marcel Dekker, New York, 1977. 492 p.

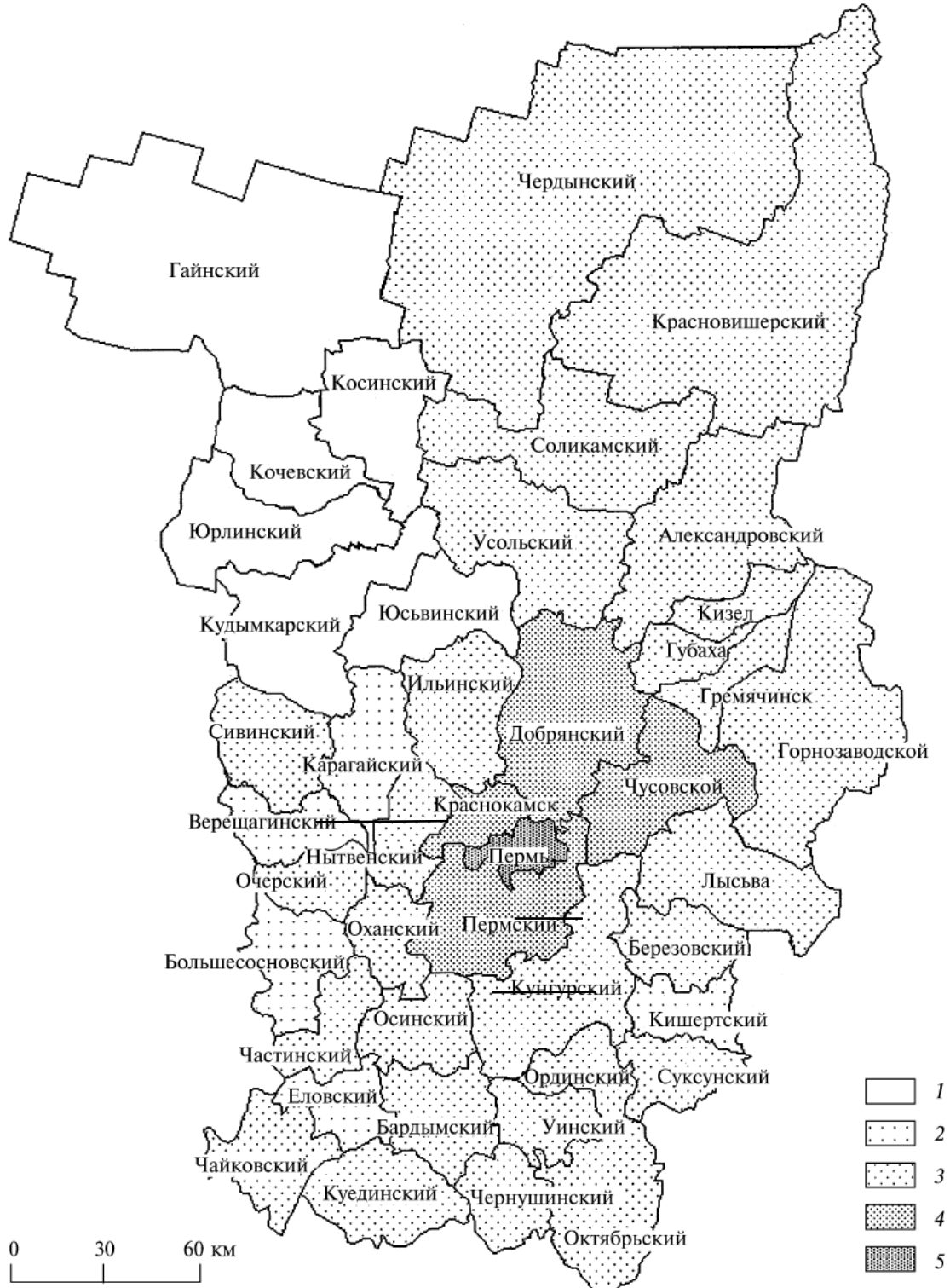
300. World reference Base for Soil Resources. Draft. ISSS/ISRIC/FAO. Wageningen-Rome, 1994. 161 p.

301. World reference base for soil resources. World soil resources. Report 84. FAO; Rome, 1998. 91 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Комплексная экологическая оценка Пермского края по административным районам



1 – нет данных, 2 – благоприятная, 3 – допустимая, 4 - удовлетворительная, 5 – напряженная, по данным С.А. Двинских[81]:

Приложение 2

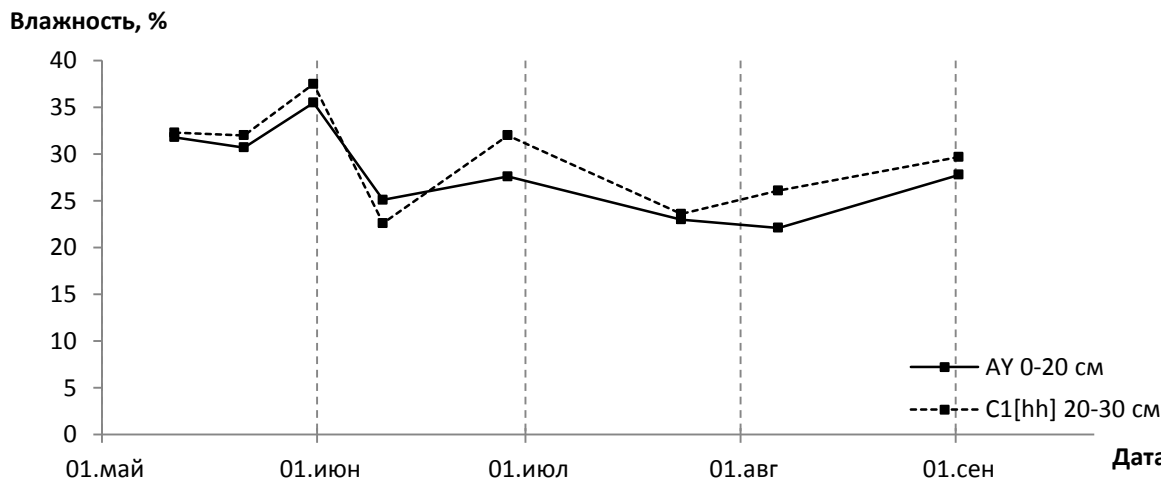
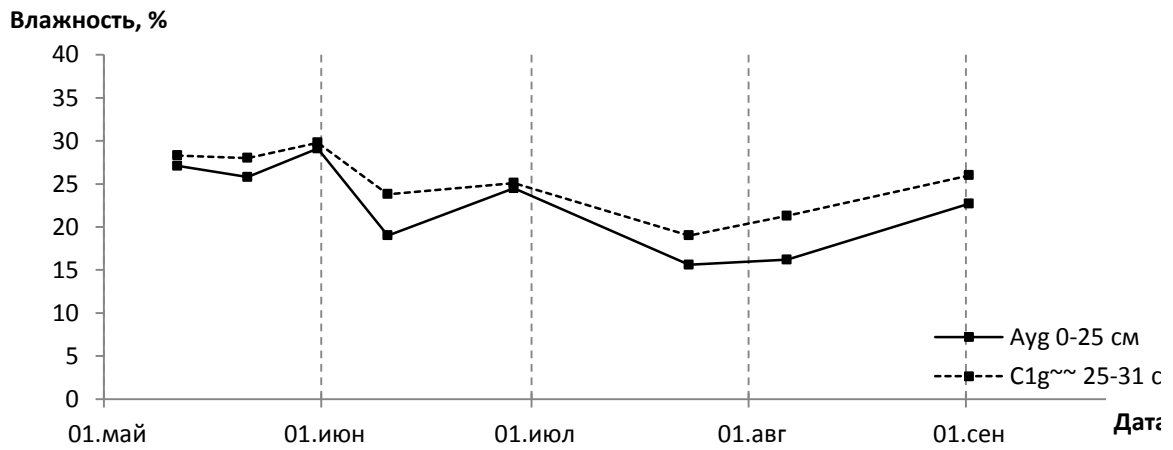
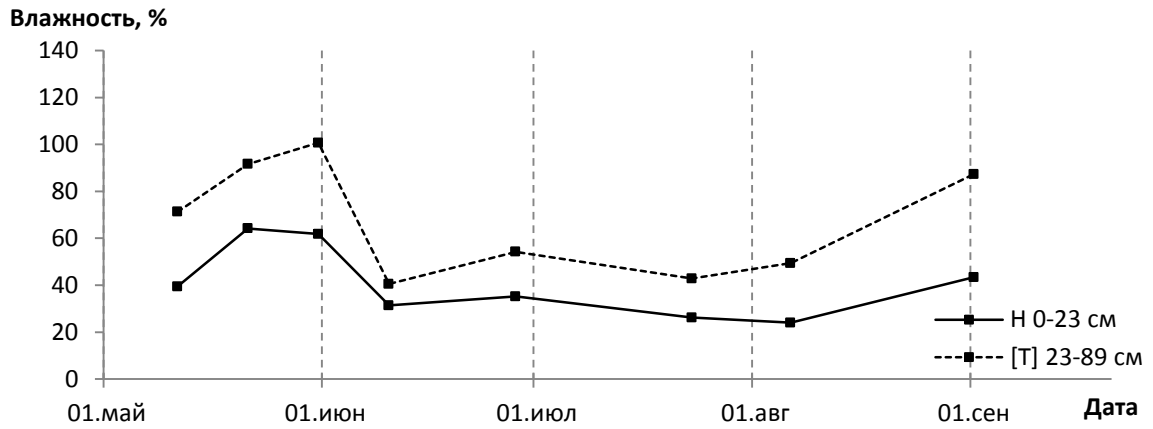
Корреляционная связь физико-химических свойств
и подвижных форм ТМ в аллювиальных почвах

Пойма Реки	Ni	Mn	Pb	Cd	Zn	Cu	Co	Sr
Сорг								
Кама (n=15)	0,28 ¹	-0,15	0,42	0,87*	-0,47	-0,37	0,10	0,74*
Обва (n = 13)	0,36	0,30	0,34	0,68*	0,47	0,25	0,14	0,50*
В. Мулянка (n = 21)	-0,26	-0,24	-0,33	-0,25	-0,16	-0,44	-0,33	0,00
S								
Кама	0,05	0,27	0,16	0,70*	-0,15	-0,40	0,03	0,95*
Обва	-0,24	-0,10	0,11	0,15	-0,35	-0,28	-0,20	0,25
В.Мулянка	0,48*	0,62*	0,50*	0,59*	-0,18	0,39	0,24	0,78*
pH _{KCl}								
Кама	-0,15	0,28	0,21	0,37	-0,02	-0,27	0,03	0,77*
Обва	-0,84*	-0,85*	-0,81*	-0,46	-0,86*	-0,86*	-0,88*	0,48
В.Мулянка	0,40	0,32	0,52*	0,72*	-0,70*	-0,13	0,40	0,52

Примечание: * – достоверно при $P = 0,95$; ¹ - коэффициент парной корреляции по Спирмену

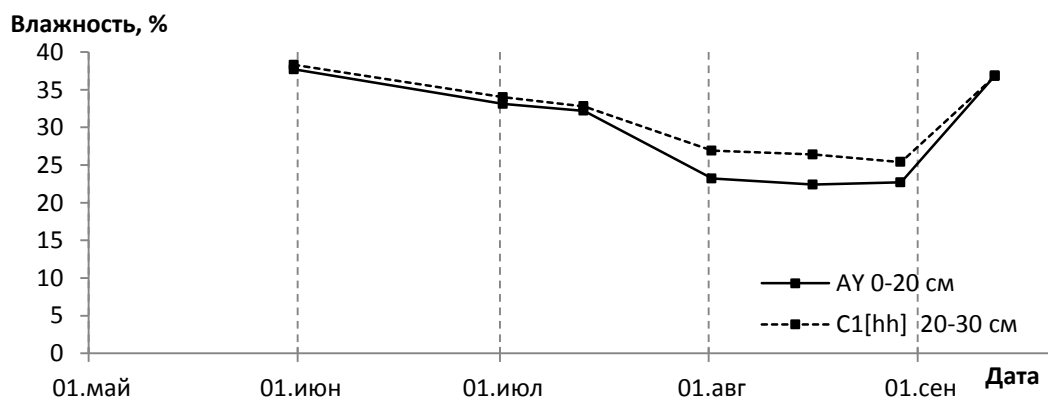
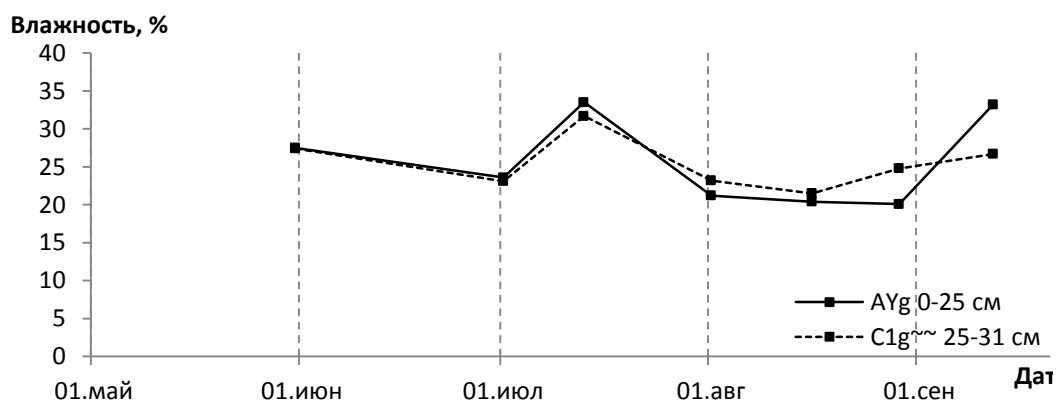
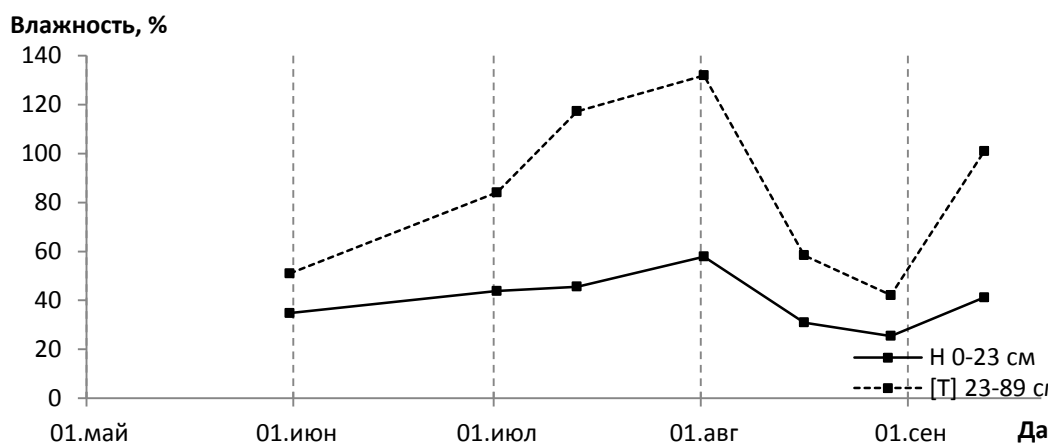
Приложение 3

Динамика влажности в аллювиальных почвах поймы р. Камы



Примечание: по данным 2004 г.

Продолжение приложения 3



Примечание: по данным 2005 г.

Приложение 4

Зависимость Eh, pH и W от температуры t°C в аллювиальных почвах

Разрез	Горизонт, мощность, см		Зависимость Eh от t°C		Зависимость pH от t°C		Зависимость W от t°C	
			Уравнение регрессии	r	Уравнение регрессии	r	Уравнение регрессии	r
Пойма р. Камы								
41	Н	0-23	$y = -4,9727 x + 544,8$	-0,11	$y = -0,0394 x + 5,7452$	-0,18	$y = -1,8566 x + 68,481$	-0,45*
	[Т]	23-89	$y = -22,078 x + 163,68$	0,42*	$y = 0,0165 x + 4,4996$	0,13	$y = -3,6363 x + 127,33$	-0,35
42	АУg	0-25	$y = 6,0729 x + 403,96$	0,29	$y = 0,039 x + 4,387$	0,18	$y = -0,208 x + 27,832$	-0,16
	С1g	25-31	$y = -7,2294 x + 624,89$	-0,25	$y = -0,1378 x + 7,1894$	-0,40	$y = -0,6341 x + 35,728$	-0,69*
43	АУ	0-20	$y = -6,1044 x + 625,63$	-0,28	$y = 0,0398 x + 4,0867$	0,30	$y = -0,6771 x + 40,189$	-0,57*
	С1	20-30	$y = -7,9752 x + 660,36$	-0,28	$y = 0,0354 x + 3,9951$	0,33	$y = -0,6301 x + 40,533$	-0,53*
Пойма р. В. Мулянки								
32	Н	0-15	$y = 11,945 x + 314,66$	0,40	$y = -0,0673 x + 7,8227$	-0,23	$y = -2,6293 x + 116,3$	-0,28
	Нmr	15-32	$y = 24,505 x + 82,854$	0,51*	$y = -0,0313 x + 7,031$	-0,11	$y = -0,2336 x + 53,154$	-0,11
33	АУpa	0-29	$y = -2,893 x + 611,25$	-0,12	$y = 0,1132 x + 4,2356$	0,48*	$y = -1,0522 x + 47,981$	-0,32
	С1	29-49	$y = -9,2024 x + 713,59$	-0,57*	$y = 0,0504 x + 5,4488$	0,23	$y = -0,2188 x + 28,754$	-0,11
34	W(АУ)	0-30	$y = -8,6 x + 640,3$	-0,60*	$y = -0,071 x + 7,4661$	-0,51*	$y = -0,9881 x + 35,501$	-0,58*
	С1	30-41	$y = -9,879 x + 659,27$	-0,49*	$y = 0,1008 x + 5,1468$	0,54*	$y = -0,7782 x + 31,488$	-0,47*

Примечание: * – достоверно при P = 0,95, по данным за теплый период 2003-2005 гг.

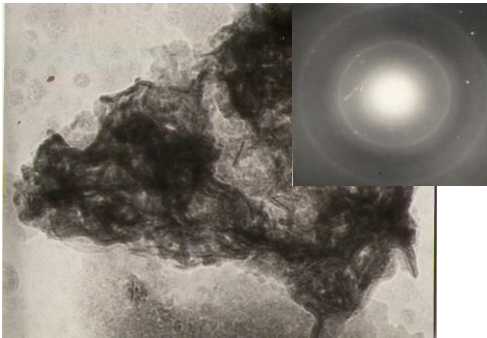
Приложение 5

Зависимость Eh и pH от влажности
в аллювиальных почвах

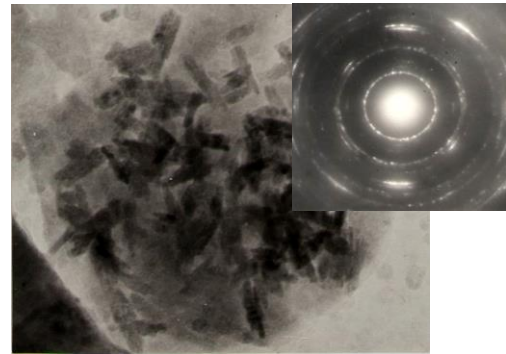
Разрез	Горизонт, мощность, см		Зависимость Eh от W		Зависимость pH от W	
			Уравнение регрессии	R	Уравнение регрессии	r
Пойма р. Камы						
41	Н	0-23	$y = -2,4346 x + 521,26$	-0,21	$y = -2,7694 x + 53,278$	-0,14
	[Г]	23-89	$y = 0,6818 x + 449,75$	0,13	$y = -11,116 x + 124,92$	-0,14
42	AУg	0-25	$y = 0,8628 x + 490,21$	0,05	$y = 3,1648 x + 8,1052$	0,52*
	C1g	25-31	$y = -5,6299 x + 651,24$	-0,18	$y = 1,1353 x + 19,835$	0,42*
43	AУ	0-20	$y = 4,7442 x + 386,26$	0,26	$y = -4,1186 x + 48,38$	-0,45*
	C1	20-30	$y = 5,6691 x + 359,94$	0,24	$y = -3,0893 x + 44,522$	-0,28
Пойма р. В. Мулянки						
32	Н	0-15	$y = -0,8126 x + 542,4$	-0,25	$y = -13,781 x + 175,79$	-0,28
	Hmr	15-32	$y = -1,2036 x + 473,85$	0,05	$y = 7,1592 x + 2,6895$	0,49*
33	AУpa	0-29	$y = 0,8886 x + 538,1$	0,18	$y = -5,7092 x + 65,839$	-0,41*
	C1	29-49	$y = 1,517 x + 534,69$	0,20	$y = -4,3986 x + 52,761$	-0,43*
34	W(AУ)	0-30	$y = 2,1484 x + 474,43$	0,28	$y = 2,1551 x + 7,8614$	0,19
	C1	30-41	$y = 0,1766 x + 514,07$	0,01	$y = -2,3399 x + 35,757$	-0,26

Примечание: * – достоверно при P = 0,95, по данным за теплый период 2003-2005 гг.

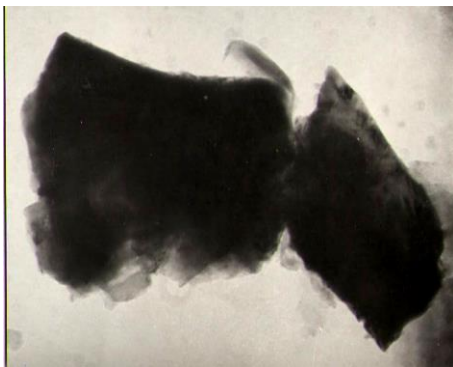
Электронно-микроскопические изображения (I)
и микродифракционные картины (II) (гидр)оксидов железа
в аллювиальных почвах



Мп-ферроксигит
со слоистыми силикатами ($\times 30\ 000$)
Кама, разр. 42, гор. АУg

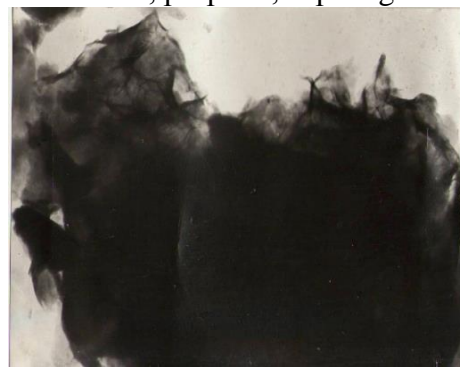


Гетит со слоистыми силикатами
(микродифракционная картина гетита
– ориентированная, а слоистых
силикатов – кольцевая)
Кама, разр. 42, гор. Сlg

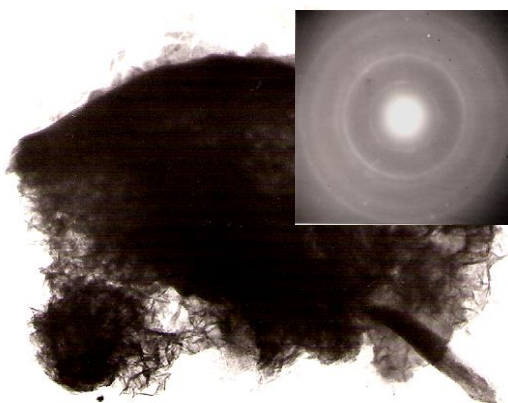


Сидерит ($\times 50\ 000$)

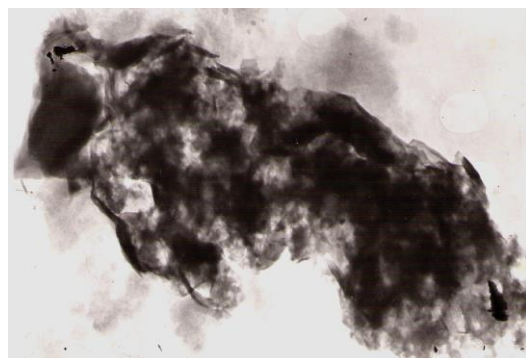
Кама, разр. 43, гор. С5g



Ферроксигит ($\times 20\ 000$)

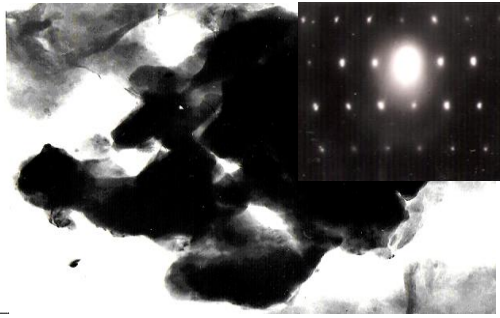


Мп-ферроксигит
со слоистыми силикатами ($\times 50\ 000$)
В. Мулянка, разр. 33, гор. АУра

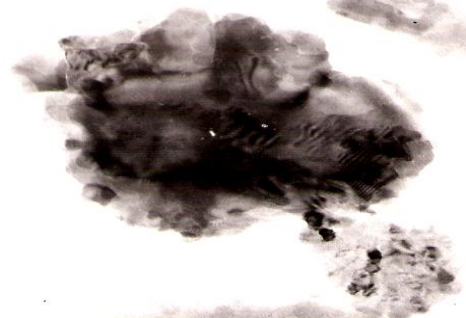


Мп-ферроксигит ($\times 50\ 000$)
В. Мулянка, разр. 33, гор. АУра

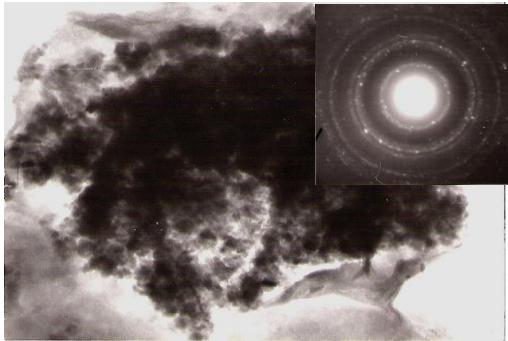
Продолжение приложения 6



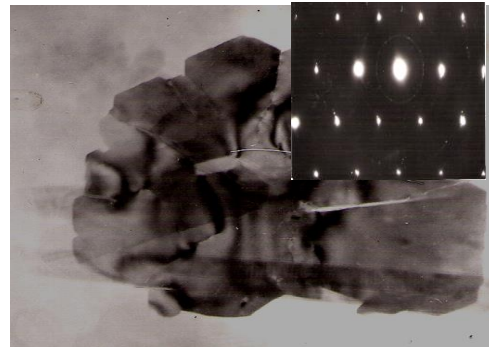
Сидерит ($\times 35\ 000$)
В. Мулянка, разр. 33, гор. С4g



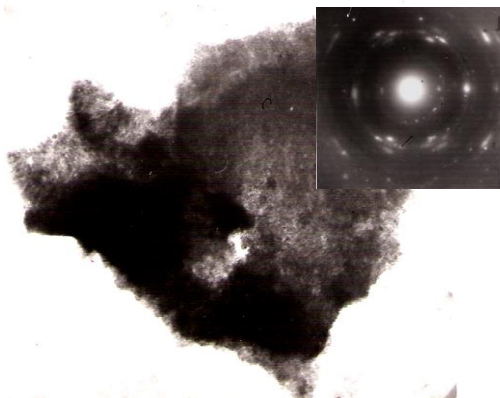
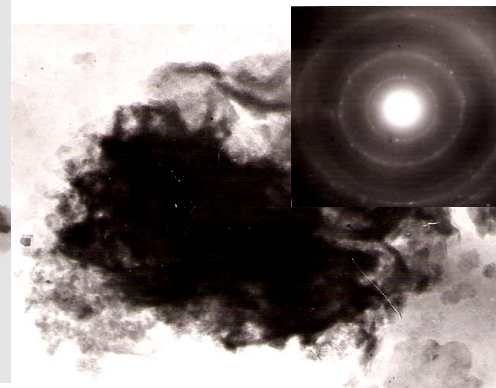
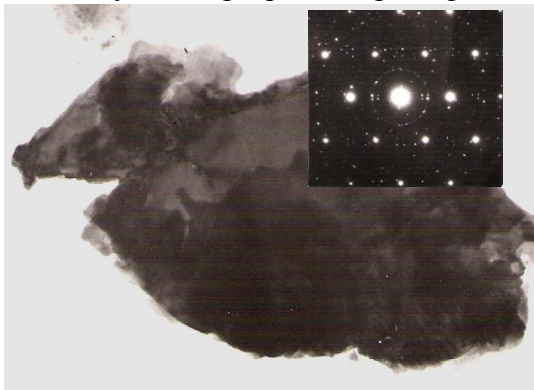
Гематит ($\times 80\ 000$)
В. Мулянка, разр. 33, гор. С4g



Гетит ($\times 70\ 000$)
В. Мулянка, разр. 33, гор. С4g

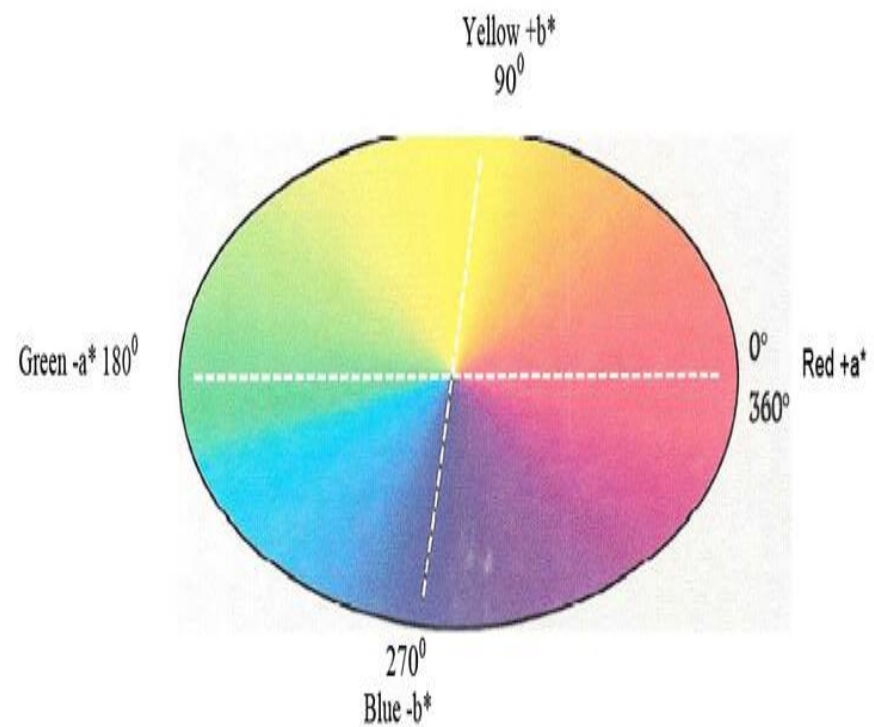
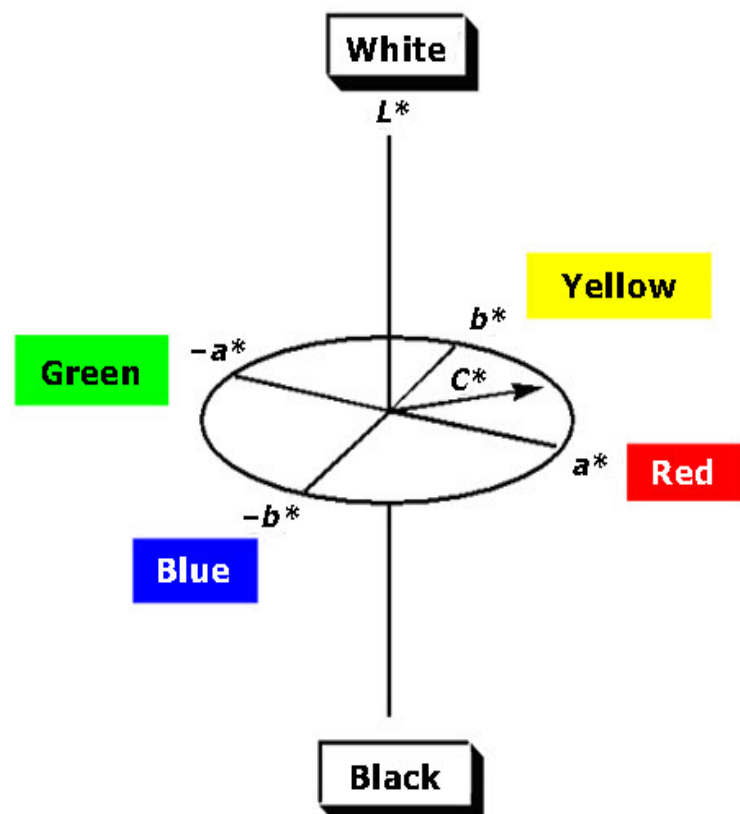


Гематит ($\times 50\ 000$)
В. Мулянка, разр. 34, гор. W(AУ)



Гетит ($\times 40\ 000$)
В. Мулянка, разр. 34, гор. С5

Цветовое пространство в системе CIE- $L^*a^*b^*$



Примечание: по данным J. Torrent, V. Barron [296]

Оптические характеристики некоторых минералов
железа и марганца

Минерал	L*	a*	b*
(Гидр)оксиды железа			
Магнетит Fe ₃ O ₄	30,7	1,0	0,9
Гематит (I) αFe ₃ O ₄	34,0	16,4	7,4
Гематит (II) αFe ₃ O ₄	35,5	23,1	23,5
Гетит αFeOOH	51,9	6,4	34,8
Сульфид железа			
Пирит FeS ₂	47,6	-0,3	2,4
Оксиды марганца			
Вернадит δMnO ₂	19,5	2,3	4,0
Пиролюзит MnO ₂	18,0	1,8	2,8
Бернессит (Na,Ca)Mn ₇ O ₁₄ ·2,8H ₂ O	16,7	3,0	4,5

Примечание: по данным О.В. Глазкова [44]

Валовой химический состав конкреций аллювиальных почв

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама											
Gfn [~]	31-55	26,7	5,67	62,9	0,38	1,11	0,37	0,88	0,83	0,66	0,46
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама											
C2[hh] [~]	30-53	57,2	11,1	20,9	0,77	3,88	1,03	1,79	1,89	0,55	1,39
C3 [~]	53-75	59,1	12,2	17,3	0,82	3,36	1,02	2,14	2,2	0,51	1,61
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, Обва											
C2g,fn [~]	37-75	53,9	11,2	27,7	0,91	0,07	0,62	2,12	0,66	0,99	1,64
G [~]	75 и >	52,1	9,33	25,2	1,12	0,14	0,96	0,79	-	6,91	1,59
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, В. Мулянка											
C2 [~]	49-75	56,3	12,3	16,9	0,88	4,69	1,88	2,85	1,96	0,96	1,55
C3 [~]	75-107	55,1	12,3	18,3	0,99	5,23	1,99	2,66	1,27	1,05	1,53
C4g [~]	107-137	51,7	11,3	22,4	0,98	6,56	1,97	2,41	0,94	1,04	1,45
C5g [~]	137 и >	51	10,7	27,9	0,81	0,66	1,83	2,4	1,29	1,48	1,45

Примечание: «-» – не определяли, концентрация химических элементов приведена в % от массы почвы

Приложение 10

Валовое содержание тяжелых металлов в конкрециях аллювиальных почв

Горизонт, глубина, см	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga	
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 42, Кама												
Gfn ~	31-55	132	-	88	269	44	6990	85	151	90	24	-
Аллювиальная серогумусовая глееватая, разр. 43, Кама												
C2[hh] ~	30-53	69	17	166	284	71	24518	151	324	50	34	
C3 ~	53-75	69	22	104	248	48	21247	163	346	62	40	6
Аллювиальная серогумусовая глеевая оруденелая, разр. 51, Обва												
C2g,fn ~	37-75	73	-	246	105	23	465	125	176	90	17	21
G ~	75 и >	75	14	68	95	66	852	107	129	50	25	9
Постагрогумусовая аллювиальная глееватая, разр. 33, В. Мулянка												
C2 ~	49-75	87	59	198	393	91	29693	269	178	44	32	5
C3 ~	75-107	84	42	151	492	134	35861	353	207	56	42	-
C4g ~	107-137	101	24	34	420	117	41433	333	172	66	37	-
C5g ~	137 и >	59	75	239	223	75	4167	265	202	65	40	6

Примечание: концентрация химических элементов приведена в мг/кг

Корреляционная связь показателей
оксидогенеза с содержанием подвижных форм ТМ
в аллювиальных почвах

Пойма реки	Ni	Mn	Pb	Cd	Zn	Cu	Co	Sr
Fe _{ВАЛ}								
Кама (n=15)	-0,17 ¹	0,22	-0,22	-0,19	-0,24	-0,27	-0,15	0,53
Обва (n = 13)	0,66*	0,44	0,51*	0,52*	0,64*	0,63*	0,51*	0,74*
В. Мулянка (n = 21)	-0,41	0,05	-0,66	-0,31	0,37	0,11	-0,65	-0,72
Fe _{ДИТ}								
Кама	-0,24	-0,11	-0,45	-0,26	0,06	-0,46	-0,40	0,31
Обва	-0,31	-0,36	-0,35	0,07	-0,34	-0,32	-0,37	0,31
В.Мулянка	-0,40	-0,08	-0,54	-0,22	0,30	-0,01	-0,47	-0,59
Fe _{ОКС}								
Кама	-0,14	-0,16	-0,44	-0,11	0,00	-0,54	-0,22	0,24
Обва	0,59*	0,43	0,45	0,66*	0,65*	0,54*	0,40	0,64*
В.Мулянка	-0,41	-0,35	-0,51	-0,33	0,35	-0,32	-0,18	-0,35
Fe _{ОКРИСТ}								
Кама	-0,07	0,03	0,06	-0,19	-0,05	0,38	-0,34	0,03
Обва	-0,54	-0,53	-0,53	-0,17	-0,59	-0,53	-0,53	0,09
В.Мулянка	-0,23	0,13	-0,34	-0,06	0,18	0,20	-0,34	-0,51
Fe _{ДИТ} /Fe _{ВАЛ}								
Кама	-0,24	-0,37	-0,46	-0,17	0,19	-0,43	-0,40	0,11
Обва	-0,56	-0,47	-0,52	-0,16	-0,59	-0,56	-0,52	-0,16
В.Мулянка	-0,31	-0,42	-0,31	-0,25	0,21	-0,42	-0,18	-0,11
Критерий Швертмана								
Кама	0,07	-0,03	-0,06	0,19	0,05	-0,38	0,34	-0,03
Обва	0,83*	0,75*	0,73*	0,67*	0,93*	0,78*	0,72*	0,27
В.Мулянка	-0,11	-0,43	0,02	-0,14	0,00	-0,46	0,14	0,25
Mn _{ДИТ}								
Кама	-0,20	-	-0,25	-0,30	-0,20	-0,14	-0,15	0,37
Обва	-0,43	-	-0,42	0,04	-0,40	-0,45	-0,47	0,24
В.Мулянка	-0,21	-	-0,34	0,07	0,56*	-0,18	-0,20	-0,31

Примечание: ¹ – коэффициент парной корреляции по Спирмену; * – достоверно при P = 0,95

Приложение 12

Корреляционная связь показателей оксидогенеза с содержанием ТМ в конкрециях аллювиальных почв

	Zn	As	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Ga
МВ	-0,26 ¹	0,91	0,29	0,25	0,44	-0,02	0,53	-0,18	-0,35	-0,59	0,62
Fe _{ДИТ}	0,35	-0,08	-0,14	-0,51	-0,47	-0,62	-0,51	-0,24	0,84	-0,39	0,52
Fe _{ОКС}	0,17	0,61	0,13	-0,07	0,01	-0,23	0,28	-0,73	0,46	-0,20	0,68
Fe _{ОКРИСТ}	0,35	-0,12	-0,15	-0,51	-0,47	-0,61	-0,53	-0,20	0,82	-0,38	0,51
Fe _{ДИТ} /Fe _{ВАЛ}	-0,66	-0,60	-0,06	-0,03	0,17	0,24	0,26	0,63	-0,20	0,49	0,17
Критерий Швертмана	0,00	0,41	0,03	0,60	0,50	0,53	0,51	-0,08	-0,73	0,37	-0,69
Mn _{ДИТ}	0,12	-0,78	-0,72	0,70	0,70	0,86	0,53	0,28	-0,42	0,59	-0,64

Примечание: ¹ – коэффициент парной корреляции по Спирмену; n=8

Научное издание

Васильев Андрей Алексеевич
Романова Ангелина Витальевна

Железо и тяжелые металлы
в аллювиальных почвах Среднего Предуралья

Монография

Подписано в печать 5.08. 2014. Формат 60×84¹/₁₆
Усл. печ. л. 14,5. Тираж 100 экз. Заказ №

ИПЦ «ПрокростЪ»
Пермской государственной сельскохозяйственной академии
имени академика Д.Н.Прянишникова,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23
тел. 210-35-34