В. П. ФИРСОВА
Ю. Г. КРАСУСКИЙ
П. В. МЕЩЕРЯКОВ
Т. А. ГОРЯЧЕВА

ГУМУС И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

В. П. ФИРСОВА, Ю. Г. КРАСУСКИЙ
П. В. МЕЩЕРЯКОВ, Т. А. ГОРЯЧЕВА

ГУМУС И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

ЕКАТЕРИНБУРГ
«НАУКА»
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1993

УДК 631.417.631.48

Гумус и почвообразование в агроэкосистемах / В. П. Фирсова, Ю. Г. Красуский, П. В. Мещеряков, Т. А. Горячева. Екатеринбург: Наука, Урал. отделение, 1993. ISBN 5—7691—0356—6

Рассмотрены новые данные о преобразовании органической и минеральной частей почвы в связи с сельскохозяйственным освоением целинно-лесных почв, длительностью их использования под пашню, внесением мелиоративных доз органических удобрений. Проведен сопряженный анализ содержания различных форм железа и параметров гумусного состояния пахотных почв, испытывающих различные антропогенные воздействия. Обсуждаются данные об изменении содержания и запасов гумуса, его фракционного и группового состава в связи с применением интенсивных технологий возделывания зерновых культур. Дана оценка роли пожнивно-корневых остатков в восполнении запасов почвенного органического вещества. Приведены сведения о зависимости продуктивности агроценозов и качества урожая от гумусного состояния почв. Выявлены для агроэкосистем специфические черты почвообразования в целом и гумусообразования — в частности, которые следует учитывать при разработке региональных систем земледелия.
Книга рассчитана на почвоведов, экологов, агрохимиков, ботаников и практических работников сельского хозяйства.
Табл. 50. Библиогр. 298 назв.

Ответственный редактор

член-корреспондент РАН **П. Л. Горчаковский**

Рецензенты

доктор биологических наук **Г. И. Таршис,**
кандидат биологических наук **Г. И. Махонина**

ISBN 5—7691—0356—6 © Издательство «Наука», 1993

ВВЕДЕНИЕ

Проблема органического вещества почв, начиная с работ В. В. Докучаева и его единомышленников П. А. Костычева и Н. М. Сибирцева, занимает одно из центральных мест в теоретическом почвоведении. В настоящее время в изучении органического вещества почв четко обособляются два направления: эколого-генетическое и химико-аналитическое [190]. Если во втором сосредоточивается внимание на изучении состава, строения и свойств специфических гумусовых веществ, то первое имеет целью установление законов гумусообразования и специфики формирования органопрофиля в различных экологических условиях. Поскольку почва в целом, составляющие ее элементы и способы связи между ними экологически обусловлены, то изучать их необходимо как системно-экологическое образование с применением системного подхода, в основу которого положена факторно-процессорная функциональность почвы [273, 274]. Такой подход наиболее эффективен при анализе сложных, динамичных и многофакторных характеристик почвы, одной из которых выступает ее гумусное состояние [67—69].

Подчеркивая, что гумус — понятие экологическое, В. В. Пономарева [207, 209] обращает внимание на функциональную и фитоценологическую стороны проблемы почвенного гумуса: на его исключительную роль в различных процессах почвообразования и в питании растений, на прямые и обратные связи между гумусом и растительностью, причем не мертвой, а живой. По ее мнению, эта сторона проблемы органического вещества почв изучена слабо и заслуживает специальных исследований. Гумус, гумусовые профили рассматривают [209] как биогеохимические формы приспособления растений к наиболее продуктивному использованию земной среды обитания.

Известно, что органическому веществу принадлежит особая роль в генезисе, плодородии и охране почв, особенно в связи с их возрастающей антропогенной дегумификацией. Знание состава, свойств, содержания и запасов органического вещества пахотных почв является экологическим базисом для разработки теоретических основ повышения продуктивности агроэкосистем. Установлено, что в агроэкосистемах высокогумусные почвы отличаются повышенной устойчивостью водно-пищевого режима к изменениям внешних факторов, что в свою очередь гарантирует получение стабильных урожаев [136, 137]. Поэто-

му в условиях, когда повышение продуктивности земледелия рассматривается как одна из глобальных проблем [108—112, 223], регулирование и оптимизация гумусного состояния пахотных почв приобретают первостепенное значение.

Наиболее изучены к настоящему времени экологические аспекты гумусообразования в почвах естественных ценозов. Особенности формирования органопрофиля в почвах агроценозов, где ведущим фактором процесса гумусообразования является не растительность, а характер антропогенного воздействия на почву, известны недостаточно. Представления о них складывались преимущественно на основе изучения почв европейской территории страны [25, 26, 76, 99, 205, 286 и др.].

Недостаточно изученными остаются региональные (в частности, на Среднем Урале) аспекты гумусного состояния почв, испытывающих продолжительное сельскохозяйственное воздействие. Отсутствуют данные о гумусном потенциале пахотных почв и их целинных аналогов, оцененном по единой системе показателей гумусного состояния почв в условиях Среднего Урала. Ощущается недостаток конкретных сведений о количестве поступающих в почвы агроэкосистем пожнивно-корневых остатков и особенностях их трансформации в различных экологических условиях, их роли в пополнении запасов гумуса.

В настоящей работе поставлена задача изучить экологические условия формирования гумусовых веществ в почвах агроценозов Среднего Урала и дать оценку гумусного состояния пахотных почв и их целинных аналогов в целях получения количественной и качественной характеристики содержания и состава органического вещества в пахотных серых лесных почвах, занимающих около 58 % пашни и различающихся сроками их сельскохозяйственного использования, дозами вносимых органических удобрений и способами механической обработки.

Представляется интересным дать сравнительную оценку роли растительности в агро- и лесных экосистемах в формировании органопрофиля и в пополнении запасов почвенного органического вещества, определить скорость и направление трансформации основных фракций растительных остатков в почвах агроэкосистем в зависимости от различных видов механической обработки почв. При этом мы исходили из того, что создание бездефицитного баланса органического вещества и оптимизация фракционно-группового состава гумуса — необходимые звенья в системе мероприятий по повышению окультуренности почв. Это особенно важно для Уральского экономического района, где дефицит гумуса составил 1,1—3,7 ц/га, т. е. органическое вещество пахотных почв восполняется не более чем на 65—85 % [201], а в Свердловской области, по материалам Ф. И. Левина [152], достигает 3—5 ц/га, причем максимальные потери гумуса (до 10—11 ц/га) наблюдаются в серых лесных почвах и оподзоленных черноземах [90].

ГЛАВА 1

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Совхоз «Бородулинский», на базе которого проводили исследования органического вещества пахотных почв агроэкосистем и их целинных аналогов, в настоящее время является одним из передовых хозяйств Свердловской области. Здесь уделяется большое внимание внедрению новейших приемов агротехники, известкованию почв. Широко практикуются программирование и прогнозирование урожаев. Минеральные удобрения вносятся из расчета на планируемую прибавку урожая, и эти дозы оказываются выше среднеобластных показателей. Органические удобрения вносятся также в бóльших объемах, чем в среднем по области, и вносимые дозы постоянно возрастают (табл. 1). Ежегодно примерно треть сельскохозяйственных угодий известкуется, причем дозы извести сравнительно высоки (3—5 т/га). Внесение таких доз извести оправданно, поскольку пахотные почвы постоянно подкисляются минеральными удобрениями. Последние годы зерновые возделываются по интенсивным технологиям. В итоге здесь получают высокие урожаи зерновых (в отдельные годы до 40 ц/га) и кормовых культур.

Преобладающая часть сельхозугодий в хозяйстве — это пашня (80 % от площади всех угодий). В структуре посевных площадей основное место занимают зерновые и зернобобовые культуры, причем используются лучшие сорта районированных культур, значительную часть посевных площадей занимают однолетние травы. Нередко в хозяйстве осваиваются небольшие массивы леса, обычно это происходит при необходимости выпрямления контуров полей и объединения их в более крупные массивы. В связи с этим для совхоза актуальны проблемы оценки и оптимизации гумусного состояния вновь вовлекаемых в сельскохозяйственное производство лесных почв.

В хозяйстве разбито опытное поле, где ведутся исследования по оптимизации агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур. Оно расположено к югу от д. Ольховка и занимает площадь (без учета защитных полос) несколько более 6 га. В 1981—1982 гг. был заложен опыт по оценке влияния высоких доз органических удобрений на продуктивность возделываемых культур. При внесении нетрадиционно высоких для хозяйств области доз органики преследовалась

Таблица 1

Динамика применения органических и минеральных удобрений в совхозе «Бородулинский» в 1960—1987 гг.

Вид удобрений	1960—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1983	1984—1987
Органические в среднем за год, т/га . . .	3,6	7,0	10,0	17,0	18,0
Минеральные в среднем за год, ц. д. в./га	0,5	2,0	3,0	3,4	4,0

цель ускоренного улучшения основных физико-химических и биологических свойств пашни и оценки эффективности последействия таких доз на гумусное состояние почвы.

Почва опытного поля — серая лесная оподзоленная тяжелосуглинистая. Все поле разбито на три блока, которые различаются искусственно созданным плодородием почвы. Они были условно названы освоенным, улучшенным и плодородным агрофонами. На освоенном агрофоне органические удобрения не вносили последние 20 лет, на улучшенном — одноразово внесен торф в количестве 300 т/га (без пересчета на абсолютно сухое вещество), а на плодородном — помимо такой же дозы торфа еще и торфопометный компост (250 т/га). На каждом блоке проведена различная обработка почвы: отвальная — плугом ПН-4-35 на глубину 20—25 см, плоскорезная — плоскорезом КПГ-250 на глубину 30 см и обработка культиватором КПС-4 на глубину 10—12 см, которая условно была названа минимальной.

На этих агрофонах и с применением названных обработок был заложен пятипольный севооборот с насыщением зерновыми до 75 %. Каждую культуру, таким образом, размещали на трех агрофонах при трех видах обработки почвы. Высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур: озимую рожь «Чулпан», пшеницу «Аркас», овес «Астор» и ячмень «Луч» [98]. Кроме них высевали и «однолетние травы» — в посевы озимой ржи высевали на глубину 2—4 см овсяно-гороховую смесь. Опытное поле периодически известковали, минеральные удобрения вносили в количестве, рассчитанном на планируемую прибавку урожая. На опытном поле заложено девять основных разрезов, которые характеризуют весь спектр антропогенных воздействий на почвенный покров.

Для сравнительного изучения изменений свойств почв в процессе их сельскохозяйственного использования в качестве эталона взяты, как и в предшествующих аналогичных исследова-

ниях [16, 144, 191, 226, 227], почвы лесных участков (разрезы 4 и 11), примыкающих непосредственно к территории опытного поля.

Наряду с этим изучали изменения экологических условий формирования гумусовых веществ при экстенсивном использовании почвы, т. е. на полях, где органические удобрения не вносили ввиду значительной удаленности полевого массива от населенных пунктов и отсутствия хороших дорог; минеральные удобрения и известь, за исключением последних 15—18 лет, вносили нерегулярно. Возделывались в основном зерновые культуры. В последние годы шел трехпольный зернотравяной севооборот. На примере разрезов (12—15), заложенных в идентичных экологических условиях (положение в рельефе, почвообразующие породы, глубина залегания грунтовых вод), оценивали влияние длительности вовлечения серой лесной почвы в сельскохозяйственное использование, причем разрез 12 был также взят в качестве целинного аналога пахотных почв, а остальные разрезы характеризовали почву, находящуюся под пашней соответственно 5, 30 и свыше 80 лет.

Серые лесные почвы агроэкосистем с высокой культурой земледелия изучены вблизи пос. Шайдурово на примере разреза 16. Он был также заложен в сходных с предыдущими разрезами литологических и геоморфологических условиях. На этом полевом массиве регулярно вносили органические удобрения в дозах, которые типичны для хозяйства (см. табл. 1), а минеральные удобрения — из расчета на планируемую прибавку урожая. Поле известковали по мере необходимости. Последние два-три года возделывались зерновые по интенсивной технологии, обеспечивающей урожайность на уровне 38—43 ц/га.

Методическая особенность изучения источников и природы органического вещества в почвах агроэкосистем и их целинных аналогов заключалась в том, что органическую часть почвы мы рассматривали как многокомпонентную систему, в состав которой наряду с собственно гумусовыми веществами различной природы входят и растительные остатки (мортмасса или детрит), находящиеся на разных стадиях разложения. Такой подход особенно оправдан при необходимости оценки роли растений в обогащении почвы органическим веществом и выяснении экологических условий гумусообразования.

В целях получения наиболее полной и развернутой характеристики таких источников пополнения запасов почвенного органического вещества, как подземные органы растений, были подобраны следующие ризологические методы. При изучении морфологии корневых систем в статике (глубина и ширина распространения корней, установление соотношений между размерами надземных и подземных органов и др.) мы использовали «траншейный» метод с частичной сухой раскопкой корневой системы [124, 132, 235]. При описании корневых систем в поле

обращали внимание на особенности их распределения как по генетическим горизонтам, так и по отдельным слоям пахотного горизонта, на наличие ярусности в распределении подземных органов, глубину их проникновения, изменение характера их ветвления с глубиной при переходе из одного почвенного горизонта в другой.

Для понимания взаимоотношений корней с внешней средой и характеристики различий в развитии корневых систем на почвах разной степени окультуренности, а также для определения влияния различных видов механической обработки почвы массу корней полевых культур определяли «рамочным» методом Н. З. Станкова (модификация метода «монолитов») с последующей отмывкой корней и растительных остатков из почвенного образца на ситах с диаметром отверстий 0,25 мм [235]. Размеры отбираемых образцов соответствовали или были кратны ширине междурядий в посеве, что исключало ошибки в определении массы корней, вызванные, по мнению Ф. И. Левина [148], во-первых, несоответствием линейных размеров и форм почвенного образца для учета корней характеру размещения культурных растений по поверхности и ширине междурядий, во-вторых, наличием в пахотном слое органических удобрений (торф, навоз, сидераты и пр.).

Отмывка корней и растительных остатков с последующим разделением их на фракции (живые корни, частично разложившиеся и гумифицированные растительные остатки) проведена по общепринятой методике [132, 194, 196, 235, 295]. Образцы отбирали в основном в трехкратной повторности, поскольку, исходя из анализа ряда литературных источников [30, 32, 40, 58, 75, 216 и др.], это позволяет получить статистически достоверные средние величины, так как показатель точности определения средней в большинстве случаев не превышает 10 %.

После разделения растительных остатков на фракции живые корни разбирали по внешним морфологическим признакам на корни злаков и подземные органы сорных растений, после чего все фракции взвешивали и брали навески для определения содержания влаги. Отмытые и разделенные на фракции растительные остатки просматривали под бинокуляром и фиксировали 80 %-м этиловым спиртом, а анатомо-морфологический анализ их проводили в более поздние сроки. Для фракции живых корней культурных растений в ряде случаев определяли и их объем по методу И. И. Колосова [115].

Для выяснения последовательности трансформации растительных остатков в почве проводили их анатомо-гистохимический анализ на временных микропрепаратах. Приготовление срезов, окрашивание их делали по общепринятой методике [210, 239, 272].

Анатомические исследования корней вели по этой же методике. Запасы фитомассы в надземной сфере агроценоза и стер-

невых (послеуборочных) остатков определены методом «укосов» на площадках, размеры которых были также кратны ширине междурядий [148, 149]. Повторность трех-шестикратная в зависимости от степени выровненности посевов.

В почвенных образцах, которые отбирали из основных (базовых) разрезов послойно через каждые 5 см в гумусово-аккумулятивных горизонтах и через 10 см в нижележащих слоях, определено содержание углерода органических соединений почвы методом Тюрина, общего азота — микрометодом Тюрина. Для исследования водорастворимых органических веществ применяли метод водных вытяжек, описанный Л. В. Моргун [179]. Потенциальную способность почв к гумусообразованию определяли по разности между общим содержанием органических веществ ($C_{общ}$) и углеродом гумуса ($C_{гум}$) в заданном горизонте или образце [10]. Причем в свежих образцах, которые предназначались для определения $C_{общ}$, были отобраны живые корни растений по внешним морфологическим признакам. Параллельно с образцами для химического анализа отбирали пробы для определения объемной массы почвы, что в дальнейшем позволило произвести расчет запасов гумуса, азота, углерода предгумусовой фракции. Для всех образцов, в которых определяли углерод и азот, вычислено отношение C : N, которое характеризует обогащенность гумуса азотом, косвенно указывает на степень гумифицированности органического вещества и позволяет при сравнительном анализе судить о направлении процесса гумификации [189]. Вычисляли не только процентные, но и атомные отношения этих элементов, что позволяет характеризовать структурные особенности веществ. Фракционно-групповой состав гумуса выполнен по схеме Тюрина в модификации Пономаревой — Плотниковой [208]. Для обобщенной характеристики гумусного состояния изучаемых почв и систематизации полученных сведений использована система показателей, предложенная Л. А. Гришиной и Д. С. Орловым [56, 57].

Определение в почвах pH, содержания азота, фосфора, калия, поглощенных оснований, валового и гранулометрического состава, а также ряда других показателей физического состояния почв проводили по общепринятым методам. Впервые охарактеризовано содержание и соотношение форм и соединений железа в лесной почве и разновозрастных пашнях. Интерпретация этих данных проведена согласно классификации, предложенной С. В. Зонном [85].

Качество сельскохозяйственной продукции оценивали по количеству незаменимых аминокислот и перевариваемого протеина. Приводятся данные об общей урожайности за ротацию севооборота и по отдельным культурам, а также о выходе кормовых единиц с 1 га.

ГЛАВА 2

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ

Гумусообразование — совокупность процессов трансформации органических остатков в почвенной толще и формирования там особой системы гумусовых веществ [9, 10, 54, 55, 66, 67]. Необходимыми условиями гумусообразования являются непрерывное поступление в почву органических остатков и их микробиологическая трансформация. Последняя протекает по двум основным направлениям: минерализация до конечных продуктов с выделением минеральных элементов, CO_2 и воды; разложение с прохождением стадии гумификации, обеспечивающее синтез биологически устойчивых органических соединений сугубо почвенной природы — гумусовых кислот, активно взаимодействующих с минеральной частью почвы [10, 28]. Минерализационные процессы способствуют сравнительно быстрому переходу закрепленных в органическом субстрате различных элементов в минеральные формы, которые вновь вовлекаются растениями в биологический круговорот веществ.

Процесс гумификации, по мнению Ф. Дюшофура [77], состоит из двух фаз. Первая — биологическая, относительно короткая, завершается образованием «молодого» гумуса, имеющего незрелые связи с минеральной частью почвы. Вторая фаза — климатическая, более продолжительная, обусловленная сезонными контрастами климата, завершается формированием зрелого гумуса и упрочением его связей с минеральной частью почвы.

Экологические принципы гумусообразования, развиваемые на основе идей ряда ученых [74, 247, 248, 116, 64, 10, 209, 54 и др.], нашли отражение в оценке различных типов растительности, почвенной фауны, рассмотрении ферментативных механизмов трансформации растительных остатков, а также в общем экологическом анализе условий гумусообразования. Выявлению связи закономерностей гумусообразования с климатическими условиями посвящены работы В. Р. Волобуева [35—37].

Понять зависимость скорости и глубины гумификации от конкретных экологических условий и свойств трансформируемых соединений помогает кинетическая теория гумификации Д. С. Орлова [188]. Выяснено, что скорость и характер минерализации органических остатков и процессы их гумификации

определяются количеством, качеством и особенностями поступления растительного материала, водно-температурным режимом почвы, реакцией среды, окислительно-восстановительными условиями, составом микробных ассоциаций, минералогическим и химическим составом минеральной части почвы. Любое изменение экологических условий влечет за собой появление специфических черт в системе гумусовых веществ.

Рассмотрим условия гумусообразования как частного проявления процесса почвообразования в районе наших исследований. Работу вели на территории совхоза «Бородулинский». По схеме природного районирования Урала [282—284], рассматриваемая территория входит в Средне-Зауральскую область. На схеме почвенного районирования Свердловской области, которая была предложена В. П. Фирсовой [253, 254] как итог обобщения материалов предшествующего почвенного [146, 147], геоморфологического [294] и лесорастительного [114] районирования, изучаемый объект располагается в Зауральской холмисто-предгорной провинции на границе зоны дерново-подзолистых и серых лесных почв.

Поскольку специфика процессов почвообразования (миграция и перераспределение веществ внутри почвенного профиля) зависит от состава пород, степени расчлененности рельефа, рассмотрим геолого-геоморфологические особенности территории.

Морфоструктурное своеобразие описываемой части провинции определяется особенностями ее геологического строения и развития [44]. Интересующая нас территория находится в пределах Исетско-Салдинского антиклинория, сложенного кристаллическими сланцами, гранитами и гнейсами, преимущественно нижнепалеозойского возраста. Указанная тектоническая структура — часть Восточно-Уральского поднятия, выполненного сильно дислоцированными осадочными и вулканогенными породами среднего палеозоя [44, 284]. Новейшие тектонические движения здесь, как и повсеместно на Среднем Урале, проявились слабо [15, 94], общее поднятие было не более 300 м, а складчатые дислокации и разломы неоген-четвертичного времени незначительны. Преобладает пологохолмистый рельеф с абсолютными высотами 250—300 м над уровнем моря. Для увалов и холмов, ориентированных согласно простиранию тектонических структур, характерны пологие склоны и плоские вершины.

Сложность геологического строения и разнообразие горных пород определили неоднородность почвообразующих пород. Образование здесь покровных отложений, на которых формируются почвы, связано с региональными элювиальными и элювиально-делювиальными процессами. Мощность отложений элювия и элюво-делювия магматических и метаморфических пород зависит от условий залегания по рельефу. Так, верхние части пологих склонов обычно заняты щебнистыми отложениями незначительной мощности.

В пределах рассматриваемой территории, как и в целом на Среднем Урале, широкое распространение получили в качестве почвообразующих пород хлоритовые и серицитовые сланцы. Они характеризуются высоким содержанием SiO_2, алюминий — второй по преобладанию элемент, и его количество в 3—5 раз больше, чем железа [261]. По мере выветривания в серицитовых сланцах увеличивается содержание кремниевой кислоты, железа, магния и резко уменьшается количество кальция [187]. При выветривании сланцы дают обычно тяжелый по гранулометрическому составу мелкозем. Несомненно, что в формировании гумусного состояния почв региона определенную роль играют миграционная способность элементов и свойство последних образовывать сложные органоминеральные соединения.

Важным экологическим фактором процессов гумификации и минерализации органического вещества в почве является ее водно-температурный режим, тесно связанный с общими климатическими условиями региона. Рассматриваемая территория характеризуется умеренно континентальным климатом, что проявляется в значительных колебаниях суточных, месячных и сезонных температур при небольшом количестве атмосферных осадков и неравномерном их распределении в течение года [131]. По многолетним данным метеостанции г. Сысерти, средняя температура января —15,9 °С, а июля +17,1 °С. Количество осадков здесь составляет более 400 мм в год и превышает испарение 300—400 мм [4]. Максимум осадков приходится на летние месяцы: только за три месяца (июнь — август) выпадает более 220 мм, причем больше всего — в июле. За весь теплый период со среднесуточной температурой воздуха >0 °С (а его продолжительность, по многолетним данным, 196 дней) выпадает две трети годовой суммы осадков. Однако количество, характер и время их выпадения значительно варьируют по годам. Сумма положительных температур >10 °С — 1754 °С, >15 °С — 1040 °С. Средняя продолжительность безморозного периода — 102 дня. Среднегодовая температура поверхности почвы 1 °С.

По данным АГМС, расположенной непосредственно на территории совхоза «Бородулинский» (в пос. Октябрьский), сумма средних суточных температур более 10 °С (1760 °С) оптимальна для выращивания многих сельскохозяйственных культур, однако продолжительность безморозного периода невелика (102 дня).

Климатические показатели подвержены значительным колебаниям по годам. Даже за непродолжительный период наблюдений на АГМС в пос. Октябрьский (1982—1987 гг.) сумма средних суточных температур выше 10 °С изменялась более чем вдвое, а количество осадков, выпавшее за вегетационный период 1984 г., было на 80 мм больше, чем в другие годы (табл. 2). Продолжительность периода со среднесуточной температурой выше 10 °С составляет 118 дней, а количество осадков за этот срок — 276 мм. Поверхность почвы на пашне может нагревать-

Таблица 2. **Характеристика вегетационного периода**

Год	Дата перехода через 10° С		Сумма осадков за период >10° С, мм	Сумма положительных температур за период >10° С	Гидротермический коэффициент за период >10° С	Сумма эффективных температур, °С		Сумма фотосинтетически активной радиации за 10-градусный период, ккал/см²	Продолжительность периода (дни) с температурами		
	весной	осенью				>5	>10		>0° С	>5° С	>10° С
1982	25.04	07.09	208	2036	1,02	1482	686	32665	199	172	135
1983	09.05	27.08	215	1704	1,26	1341	604	27281	224	186	110
1984	18.05	08.09	285	1610	1,77	1193	480	Нет свед.	186	151	113
1985	09.06	23.09	205	1653	1,24	843	293	»	184	162	136
1986	18.05	15.09	272	1670	1,63	1094	460	»	216	159	121
1987	04.05	13.09	348	2203	1,58	1574	883	»	193	151	132
Средняя многолетняя (норма)	16.05	11.09	276	1760	1,57	1274	580	25248	196	159	118

Таблица 3. **Характеристика зимнего периода (месяцы X — IV)**

Сезон года	Дата перехода через 0° С		Продолжительность зимнего периода, дни	Сумма отрицательных температур, °С	Средняя температура воздуха, °С	Глубина промерзания почвы на конец месяца, см							Снежный покров			Запасы воды в снеге, мм	Сумма осадков, мм
	осенью	весной				X	XI	XII	I	II	III	IV	Дата установления	Дата схода	Наибольшая высота, см		
1981—82	08.09	05.04	148	—1586	—10,5	—	34	74	106	127	143	—	10.11	13.04	23	60	102,4
1982—83	21.10	20.03	150	—1078	—6,5	—	20	50	65	73	80	—	01.12	30.03	40	86	113,0
1983—84	30.10	24.04	176	—1225	—7,0	—	29	37	62	95	101	101	03.11	01.04	26	55	68,2
1984—85	27.10	10.04	165	—2066	—12,5	15	23	55	85	105	120	45	27.10	21.04	50	92	97,0
1985—86	22.10	27.03	156	—1391	—8,9	—	40	39	53	73	72	60	20.10	12.04	59	103	131,2
1986—87	28.10	14.04	168	—1829	—12,1	—	40	43	89	100	108	102	06.11	29.04	60	78	123,8
Средняя многолетняя (норма)	20.10	07.04	169	—1800	—11,8	Нет свед.							Нет свед.	16.04	Нет свед.		108,0

ся до 45—55 °С. Дата перехода через 10 °С весной и осенью в различные годы существенно варьирует.

Продолжительность зимнего периода по средним многолетним данным составляет 169 дней (табл. 3). О его суровости свидетельствует средняя температура воздуха за зиму (—11,8 °С) и сумма отрицательных температур за сезон (—1800 °С). Количество зимних осадков 108 мм. Устойчивый снежный покров удерживается с конца октября по начало апреля. В зимний период ветры обусловливают перенос снега на открытых пространствах и на полях, в связи с этим наблюдается неравномерное накопление снегового покрова. Высота снежного покрова и запасы воды в нем значительно колеблются (см. табл. 3), в отдельные годы почва промерзает до глубины 1,4—1,5 м.

Данные, полученные на АГМС в пос. Октябрьский, свидетельствуют о плавном промерзании почвы в осенне-зимний период и интенсивном оттаивании ее весной. Последнее обычно связано с быстрым потеплением. Среднегодовая температура поверхности почвы 1,0 °С.

Заметим, что сочетание высоких летних температур с выпадаемым в этот период количеством осадков создает хорошие предпосылки для процессов гумификации поступающих в почву растительных остатков. Однако климатические условия по годам и сезонам значительно различаются, что определяет высокую динамичность системы новообразованных гумусных веществ [67, 69] даже в почвах лесных биоценозов. Особенно сильной контрастностью водно-воздушного и температурного режимов отличаются пахотные почвы. Они глубже промерзают зимой, сильнее прогреваются в летнее время, в них интенсивнее идет испарение влаги. Механическая обработка способствует усилению аэрации почвы, что сопровождается ростом напряженности минерализационных процессов.

Количество растительных остатков, которое ежегодно поступает в почву и участвует в гумусообразовании, определяется типом растительности, а также во многом зависит от ее флористического состава и возрастных особенностей. Согласно лесорастительному [114] и геоботаническому [51] районированию, рассматриваемая территория относится к южно-таежной подзоне таежно-лесной зоны. Она занимает пограничное положение между южно-таежными и предлесостепными сосново-березовыми лесами в Зауральской холмисто-предгорной провинции. Коренными или условно-коренными типами леса являются высокобонитетные (II—I) сосняки ягодниковые и разнотравные с запасами древесины 300—350 м³/га, а производными — сосняки-березняки разнотравные [155].

Под пологом таких лесов, особенно травяных типов, образуются, по данным В. П. Фирсовой и Т. С. Павловой [259, 260], сравнительно небольшие запасы лесных подстилок (около

20—30 т/га), что свидетельствует о благоприятных экологических условиях для разложения опада. В итоге в подстилках аккумулируется до 10 т/га углерода, около 0,3 т/га азота и по 0,3—0,4 т/га кальция, магния и калия. В составе зольного вещества доминирует SiO_2, на долю которого в разных слоях подстилки приходится от 42 до 60 %, $Al_2O_3+Fe_2O_3$ — до 30 %, $CaO+MgO$ — до 10—15 %, $P_2O_5+K_2O$ — менее 10 %.

Высокое содержание кремния дает основание предполагать, что в условиях южной тайги идет глубокое преобразование опада лесной растительности. С этим согласуются результаты определения потери при прокаливании, величина которой составляет в подстилках южной тайги Урала около 50 % против 80 % в северной тайге, а также отношение C : N в подстилке, которое в среднем равно соответственно 28 и 40.

Интенсивность процессов превращения опада и состав новообразующихся органических веществ тесно связаны с содержанием различных групп микроорганизмов. Микробный спектр таежных почв Урала и Зауралья под разными типами лесной растительности сильно варьирует [134, 135, 280, 259]. Общим для почв подзоны южной тайги является резкое преобладание бактерий, растущих на МПА и КАА, при значительном присутствии и видовом разнообразии актиномицетов и спорообразующих форм бактерий.

К сожалению, региональные данные о микробиологической активности пахотных почв Зауралья отсутствуют. По обобщенным данным Е. Н. Мишустина [178], Т. В. Аристовской [17, 18], в связи с окультуриванием почвы в ней увеличивается численность азотфиксирующих микроорганизмов, в частности родов азотобактер и цианобактерий, сильнее размножаются целлюлозоразрушающие бактерии. Возделывание почвы, как правило, приводит к обогащению ее микроскопическими водорослями [288].

Если количество и качество поступающих на поверхность почвы растительных остатков в южно-таежных лесах Зауралья изучены подробно, то сведения по суммарному накоплению в пределах почвенного профиля растительных остатков разной степени разложения и живых подземных органов растений практически отсутствуют. Этот пробел был отчасти восполнен нашими ранее опубликованными данными [169], которые показывают, что основная масса (85—90 %) живых корней лесной растительности концентрируется в горизонтах A0, A1 и A1A2 и запасы живых подземных органов растений в 2—3 раза превышают запасы в почвенном профиле мортмассы (растительных остатков разной степени разложения). Таким образом, в естественных биоценозах основным источником пополнения запасов почвенного органического вещества является растительность, а данные по количественному и качественному спектру микроорганизмов и соотношению в почвенном профиле растительных

остатков разной степени разложения позволяют судить о высокой интенсивности и глубоком преобразовании последних.

В таких условиях в составе гумусовых веществ в подстилках обычно продуцируется равное количество гуминовых и фульвокислот ($C_{ГК} : C_{ФК} = 1$ или чуть меньше 1), тогда как в подстилках в средне- и северотаежных лесах доминируют фульвокислоты [261].

Влияние минеральной части почвы на органопрофиль определяется генезисом почв. Сложный механизм взаимодействия органических веществ с минеральной частью почвы изучался многими исследователями [8, 10, 13, 50, 154, 278, 279].

Генетические особенности серых лесных почв подзоны южной тайги Зауралья подробно описаны в обширной монографической литературе [31, 91, 145, 146, 213, 252, 261], а их агрохимическая характеристика дана Б. А. Лебедевым [147]. По данным названных исследователей, серые лесные почвы на этой территории имеют ясные следы оподзоливания, которые фиксируются в кислой реакции среды и обеднении поверхностных горизонтов илистой (<0,001 мм) фракцией. Проведено и сравнительное изучение [262] почв данного типа, развитых в Предуральской и Зауральской провинциях в пределах Свердловской области. Оказалось, что в соответствующих подтипах серых лесных почв Предуралья по сравнению с Зауральем больше мощность гумусового горизонта и меньше оподзоленная толща, однако ниже содержание и запасы гумуса.

Поскольку в современном генетическом почвоведении одной из основополагающих научных концепций служит положение о том, что морфология почвы — это концентрированное отражение ее генезиса, рассмотрим некоторые ее особенности по литературным и сделанным нами описаниям, приведенным ниже.

Итак, профиль серых лесных почв региона заметно дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу. Четко диагностируется по морфологическим признакам горизонт A1A2, который имеет наиболее светлую окраску в профиле. Иллювиальные горизонты обладают ярко выраженной ореховатой структурой. По граням структурных отдельностей — гумусовый «глянец», что свидетельствует о значительной миграции в этот горизонт водорастворимых гумусовых соединений.

По гранулометрическому составу преобладают тяжелосуглинистые почвы [242], характеризующиеся элювиально-иллювиальным распределением илистых частиц. Заметим, что высокое содержание ила благоприятствует закреплению гумусовых веществ. Тяжелый гранулометрический состав в какой-то мере может затруднять и нисходящую миграцию водорастворимых форм органического вещества.

При вовлечении почв в сельскохозяйственное производство и последующем их окультуривании в пахотном горизонте проявляется тенденция нарастания содержания ила, что является

следствием припахивания части более тяжелого по механическому составу нижележащего горизонта и новообразования илистых частиц в результате активизации биохимических процессов [267].

Представление о генетических особенностях серых лесных почв Зауралья расширено благодаря впервые проведенному изучению качественного состава гумуса [63, 64] и получению обширных материалов, характеризующих валовой, гранулометрический и химический составы этих почв [255, 266]. В соответствии с литературными данными, результаты наших исследований (см. главу 3) показывают, что профиль изученных почв по распределению поглощенных оснований отчетливо разделяется на элювиальную и иллювиальную части, хотя первая имеет незначительную мощность. В лесной подстилке интенсивно накапливаются поглощенные кальций и магний, в минеральных горизонтах их содержание резко падает.

Почвы характеризуются слабокислой реакцией среды. Величина pH_{H_2O} по профилю изменяется очень незначительно. Минимум кислотности приурочен к верхней части почвенного профиля, так как накапливающийся на поверхности почвы опад содержит большое количество зольных элементов, способных частично нейтрализовать кислые продукты, образующиеся в процессе минерализации опада.

Гумус имеет сходный с поглощенными основаниями характер распределения по профилю. Гумусово-аккумулятивный горизонт характеризуется высоким содержанием гумуса, с глубиной количество его падает, однако в горизонте B1 на глубине 30—40 см составляет более 1 %. Обогащенность гумуса азотом в верхней части профиля средняя (отношение C : N = 11), а с глубиной изменяется до высокой и очень высокой.

Почвенный профиль обеднен подвижными формами K_2O и P_2O_5. Максимальное их количество сконцентрировано в лесной подстилке. По данным валового химического состава можно судить о преобладании в подстилке кальция над магнием, что является следствием биологической аккумуляции кальция, который, очевидно, интенсивнее и в большем количестве вовлекается в биологический круговорот. Обращает на себя внимание обогащенность почв Al_2O_3, количество которого во всем профиле выше, чем Fe_2O_3. Максимальное накопление SiO_2 отмечено в A1A2 при минимальном содержании в этой части профиля железа, магния и калия. Данные валового химического состава согласуются с представлениями о степени дифференциации почвенного профиля по гранулометрическому составу, поглощенным основаниям и гумусу.

В процессе длительного сельскохозяйственного использования серые лесные почвы претерпевают существенные изменения: реакция среды становится менее кислой, уменьшается количество гумуса и усиливается эрозия [226]. Результаты наших

исследований свидетельствуют (как будет видно ниже), что в целинной и окультуренной почвах по-разному выражено профильное распределение поглощенных оснований, изменяется валовой состав почв. В пахотных почвах больше содержится азота, подвижных форм фосфора, калия. Воздействие ходовых систем сельскохозяйственных машин на почву приводит к ухудшению общих физических и гидрологических ее свойств [19, 123], но при высокой агротехнике А пах характеризуется благоприятными физическими свойствами для роста и развития подземных органов культурных растений. Все эти данные свидетельствуют о специфичности условий гумусообразования в почвах агроэкосистем.

Главный образователь гумуса — растительность и связанная с ней микрофлора. Подводя итоги рассмотрению экологических условий гумусообразования в серых лесных почвах Зауралья, еще раз подчеркнем, что особенностью лесной растительности является накопление элементов-органогенов лишь в лесной подстилке и наличие больших запасов органического вещества в фитомассе леса. Согласно взглядам В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [209], лесное почвообразование имеет деаккумулятивную направленность. С этим и связаны свойства целинно-лесных почв как объектов дальнейшего сельскохозяйственного использования.

ГЛАВА 3

ПРИРОДА И СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Для оценки влияния антропогенного воздействия в процессе сельскохозяйственного использования почвы на ее гумусное состояние и для выявления особенностей гумусообразования в специфических экологических условиях агроэкосистем нами проведено сравнительное изучение пахотных почв и их целинных аналогов под лесной растительностью. Почвы лесных экосистем охарактеризованы тремя разрезами (4, 11 и 12). Первый заложен в условно-коренном березняке-сосняке ягодниково-разнотравном, а второй и третий — в березняке травяном.

3.1. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Морфологическое строение целинной лесной почвы сосново-березового леса рассмотрим на примере разреза 4. Он заложен на приводораздельной части очень пологосклонного холма под пологом березняка-сосняка ягодниково-разнотравного. Состав древостоя 7С3БедОс, сомкнутость крон 0,4. Куртинами обилен подрост сосны, березы.

А0	0,3 см. Среднеразложившаяся лесная подстилка серого цвета, состоящая из опада сосны и березы, сухая, легко отделяющаяся.
А1	3—6 см. Серый, влажноватый, рыхлый, комковатой структуры тяжелый суглинок, густо переплетен корнями, встречаются древесные угли. Переход по цвету и структуре ясный.
А1А2	6—19 см. Белесовато-бурый, влажный, плотноватый, непрочной плитчатой структуры тяжелый суглинок, обильно пронизан корнями древесных растений. Переход по цвету и структуре постепенный.
А2В1	19—31 см. Светло-бурый с незначительной белесоватой присыпкой по граням структурных отдельностей, влажный, плотный, непрочной ореховато-ком-

коватой структуры тяжелый суглинок, единично мелкая кварцевая галька, корней мало, в основном древесные. Переход по цвету и структуре постепенный.

B1 31—55 см. Бурый, влажный, плотный, прочной комковато-ореховатой структуры тяжелый суглинок. Корни единичные, в основном древесные. Переход по цвету и структуре постепенный.

B2 55—83 см. Бурый с жирным блеском, влажный, плотный, ореховатой структуры тяжелый суглинок. Пронизан единичными корнями деревьев. Переход по цвету и структуре постепенный.

BC 83—109 см. Бурый с жирным блеском, влажный, плотный, неясной ореховатой и глыбисто-комковатой структуры тяжелый суглинок. Корни единичные. Обильны включения сильно выветренных обломков породы. Переход постепенный.

C 109—165 см и глубже. Бурый, неоднородно окрашенный со светло-бурыми и темными пятнами, влажный, плотный, тяжелосуглинистый элювий сланцев.

Разрез 11 заложен на выровненном участке в средней части очень пологого склона ($<1,5°$) под пологом спелого березняка травяного. Древесный ярус разрежен, сомкнутость крон невысокая (0,3). Состав древостоя 10БедС. Напочвенный покров развит хорошо и представлен лесным разнотравьем. Подрост редкий, состоит из единичных экземпляров березы.

A01 0—1 см. Сухая слаборазложившаяся лесная подстилка серого цвета из опада березы и лесного разнотравья.

A02 1—3 см. Свежая легко отделяющаяся лесная подстилка бурого цвета из средне- и сильноразложившегося опада.

A1 3—8 см. Серый, свежий, рыхлый, мелкокомковатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями. Встречаются древесные угли.

A1A2 9—15 см. Светло-серый, свежий, рыхлый, непрочнокомковатый тяжелый суглинок, густо пронизан корнями. Переход по цвету и структуре ясный, нижняя граница неровная.

A2B 15—40 см. Неоднородно окрашенный (от светло-бурого до бурого), влажный, плотный, мелкоореховатый тяжелый суглинок, густо пронизан корнями древесных растений. Переход по цвету и структуре постепенный.

B 40—79 см. Бурый, влажный, плотный, крупноореховатый тяжелый суглинок, по граням структурных отдельностей — гумусовый «глянец», корни единич-

ные, встречаются обломки сильно выветренного сланца. Переход по цвету и структуре постепенный.

BC 79—133 см. Темно-бурый, свежий, плотный, неясной крупнооореховатой структуры тяжелый суглинок с единичными сильно выветренными обломками сланцев. Переход по цвету и структуре постепенный.

C 133 см и глубже. Неоднократно окрашенная от красновато-коричневого до бурого, влажная, плотная бесструктурная глина. Разрез 12 заложен в 3,5 км к западу от пос. Первомайский под пологом приспевающего березняка травяного. Сомкнутость крон древесного яруса высокая. Травяной покров развит хорошо. Подрост редкий.

A0 0—1 см. Полуразложившаяся рыхлая подстилка бурого цвета, состоящая из опада березы и лесного разнотравья.

A1 1—19 см. Серый, влажный, рыхлый, комковатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями травянистой и древесной растительности, нижняя граница неровная в виде затеков, карманов. Переход по цвету и структуре ясный.

A2B1 19—24 см. От палевого до палево-бурого, местами прокрашен гумусом, пылевато-неяснокомковатый средний суглинок, влажноватый, рыхлый, много корней, обильны ходы червей. Переход по цвету и структуре ясный.

B1 24—60 см. Темно-бурый, влажный, плотный, ореховатый тяжелый суглинок, корни единичные, в основном древесные, по граням структурных отдельностей темные марганцевые пятна и гумусовый глянец. Переход по цвету и структуре постепенный.

B2 60—101 см. Бурый, плотный, влажный, крупнооореховатый тяжелый суглинок, по граням структурных отдельностей темные пятна марганца и гумусовый глянец, корни единичные. Переход по цвету и структуре постепенный.

BC 101—157 см. Бурый, плотный, влажный, неясной крупнооореховатой структуры тяжелый суглинок.

C 157 см и глубже. Бурый, плотный, влажный тяжелый суглинок с единичными сильно выветренными обломками сланцев.

Из приведенных морфологических описаний видно, что профиль этих почв заметно дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу. Четко диагностируется по морфологическим признакам горизонт A1A2, который имеет более светлую окраску. Иллювиальные горизонты обладают ярко выраженной ореховатой структурой и глянцем и налетом марганца по гра-

ням структурных отдельностей. Почва под чистым производным березняком (разрез 12) имеет несколько меньшую мощность подстилки и большую мощность гумусового горизонта.

Данные гранулометрического состава (табл. 4) показывают, что это тяжелосуглинистые почвы, подстилаемые глиной. Доминирующей фракцией является ил, содержание которого несколько уменьшается в оподзоленной части профиля и резко возрастает в почвообразующей породе. По содержанию крупнопылеватых частиц профиль почвы разделяется на две части: верхнюю со значительным количеством пыли и нижнюю — с меньшим.

Данные валового химического состава (табл. 5, разрез 12) свидетельствуют о преобладании в гумусовом горизонте кальция над магнием, что является следствием биологической аккумуляции кальция, который интенсивно вовлекается в биологический круговорот. В этом горизонте отчетливо выражено накопление серы, фосфора, марганца, тогда как калий сравнительно равномерно распределен в пределах почвенного профиля. В верхних горизонтах накапливается кремнезем, выносятся железо и алюминий. Здесь шире, чем в нижней части профиля, молекулярные отношения $SiO_2 : Al_2O_3$ и $SiO_2 : Fe_2O_3$. Судя по величинам этих отношений, элювиальные процессы наиболее сильно выражены на глубине 15—19 см (A1A2).

Рассматриваемые почвы характеризуются слабокислой реакцией среды (табл. 6). Минимум кислотности наблюдается в почвообразующей породе, а максимум — в средней части профиля, кислотность подстилки больше в сосново-березовых лесах, чем в чистых березовых. Минимум гидролитической кислотности приурочен к горизонту подстилки в связи с нейтрализацией кислых продуктов за счет высокозольного лесного опада. Биологическое накопление кальция в большом количестве подтверждается большими величинами поглощенных оснований в подстилке. Степень насыщенности основаниями высокая, она уменьшается в оподзоленной части профиля. Эти почвы характеризуются большим содержанием гумуса, которое сравнительно постепенно уменьшается с глубиной. Обогащенность гумуса азотом верхних горизонтов средняя (C : N = 9—10), а с глубиной она изменяется до высокой и очень высокой. Почвенный профиль обеднен подвижными формами калия и фосфора. Максимальное их количество сконцентрировано в лесной подстилке, особенно в березовых лесах.

3.2. ФИТОМАССА ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ И ЗАПАСЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Основным источником органического вещества в экосистемах южной тайги является лесная растительность, причем накопление биомассы здесь больше, чем в других подзонах тайги. По

Таблица 4

Гранулометрический состав серой лесной тяжелосуглинистой почвы (разрез 11), %

Горизонт	Глубина, см	Размер частиц, мм						
		1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	Менее 0,001	Сумма фракции менее 0,01
A1	0—9	16,5	13,3	20,2	10,6	17,1	22,3	50,0
A1A2	9—15	16,4	19,3	16,1	8,5	16,0	23,7	48,2
A2B	20—40	19,9	11,6	23,1	4,4	11,7	29,3	45,4
B	40—50	22,9	12,6	15,6	7,1	11,6	30,2	48,9
B	60—70	25,0	18,2	12,4	6,7	9,6	28,1	44,4
BC	90—100	29,2	18,8	13,8	4,8	8,6	24,8	38,2
BC	123—133	9,7	11,0	13,1	8,2	14,1	43,9	66,2

Таблица 5

Валовой химический состав целинных серых лесных почв (разрез 12), %

Горизонт	Глубина, см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O
A1	1—5	72,24	12,13	4,65	0,245	2,69	1,33	2,26
A1A2	15—19	74,44	12,46	4,45	0,171	2,22	1,23	2,13
A2B1	19—24	68,68	15,39	5,88	0,103	2,14	1,69	2,41
B1	24—40	64,59	18,45	7,46	0,075	2,02	1,82	2,54
B1	40—60	64,73	18,74	7,73	0,083	1,89	1,81	2,45
B2	70—80	66,07	18,03	7,35	0,082	1,93	1,64	2,46
BC	100—120	63,22	19,30	8,70	0,075	1,78	1,76	2,48
C	140—160	65,06	18,31	8,25	0,076	2,11	1,77	2,26

Горизонт	Глубина, см	Na_2O	TiO_2	MnO	SO_3	Молекулярные отношения		
						$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
A1	1—5	2,00	0,73	0,209	0,523	10,0	8,1	4,1
A1A2	15—19	1,76	0,75	0,213	0,245	12,0	8,3	4,4
A2B1	19—24	1,67	0,80	0,106	0,154	7,6	6,1	4,1
B1	24—40	1,05	0,74	0,079	0,170	5,9	4,7	3,9
B1	40—60	1,19	0,81	0,083	0,155	5,9	4,7	3,8
B2	70—80	1,29	0,74	0,087	0,126	6,2	4,9	3,8
BC	100—120	0,90	0,84	0,145	0,146	5,6	4,3	3,5
C	140—160	0,95	0,85	0,096	0,179	6,1	4,7	3,4

Таблица 6

Химический состав целинных серых лесных почв

№ разреза	Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	pH_{H_2O}	Гидролитическая кислотность, мг·экв/100 г	Поглощенные основания, мг·экв/100 г почвы		
					Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$
4	АО	0—3	5,5	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.
	А1	3—6	6,1	»	»	»	»
	А1	6—14	6,8	»	»	»	»
	А1А2	14—19	5,8	»	»	»	»
	А1А2	19—24	5,9	»	»	»	»
	А2В1	24—31	5,8	»	»	»	»
	В1	31—43	5,9	»	»	»	»
	В1	43—55	6,0	»	»	»	»
	В2	55—70	6,1	»	»	»	»
	В2	70—83	6,1	»	»	»	»
	ВС	83—90	Нет свед.	»	»	»	»
	ВС	90—100	6,0	»	»	»	»
11	АО	0—3	6,6	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.
	А1	3—9	5,5	»	»	»	»
	А1А2	9—15	5,5	»	»	»	»
	А2В	15—20	6,0	»	»	»	»
	А2В	20—27	5,9	»	»	»	»
	А2В	27—40	5,8	»	»	»	»
	В	40—50	5,7	»	»	»	»
	В	50—60	5,9	»	»	»	»
	В	60—70	5,9	»	»	»	»
	В	70—80	6,0	»	»	»	»
	ВС	80—90	6,7	»	»	»	»
	ВС	90—100	6,7	»	»	»	»
	ВС	100—138	6,7	»	»	»	»
	С	138—145	6,8	»	»	»	»
12	АО	0—1	5,9	2,8	54,5	25,5	80,0
	А1	1—5	5,7	9,8	14,1	11,9	26,0
	А1	5—10	5,8	9,8	10,2	7,8	18,0
	А1	10—15	5,5	9,5	7,8	7,5	15,3
	А1А2	15—19	5,7	8,1	7,9	6,4	14,3
	А2В1	19—24	5,8	5,6	9,6	7,9	17,5
	В1	24—30	5,7	6,7	14,1	9,9	24,0
	В1	30—40	6,3	6,3	16,1	11,0	27,1
	В1	40—50	6,0	5,6	15,3	11,3	26,6
	В1	50—60	6,0	5,3	16,0	12,0	28,0
	В2	60—70	6,2	5,3	17,0	12,2	29,2
	В2	70—80	6,3	4,9	15,1	11,0	26,1
	В2	80—100	6,3	4,2	15,8	9,7	25,5
	ВС	100—120	6,9	3,9	20,3	12,0	32,3
	ВС	120—157	6,4	3,9	19,6	11,4	31,0
	С	157—170	6,6	3,5	19,8	12,3	32,1

Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	$N_{общ}$, %	C : N		Подвижные формы, мг/100 г почвы	
			%	атомное	P_2O_5	K_2O
Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет. свед	23,1	30,9
»	6,72	0,37	10,4	12,2	4,1	13,1
»	1,39	0,20	4,0	4,7	2,6	7,8
»	1,23	0,18	3,9	4,6	3,4	7,0
»	1,00	0,15	3,8	4,4	3,9	10,9
»	0,84	0,15	3,2	3,7	3,9	13,1
»	0,57	0,14	2,6	3,0	4,7	15,7
»	0,64	0,12	2,2	2,6	2,0	13,5
»	0,46	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	2,1	15,0
»	0,52	»	»	»	2,7	14,8
»	0,43	»	»	»	Нет свед.	15,5
»	0,61	»	»	»	»	14,8
Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	14,3	36,6
»	6,76	0,43	9,1	10,6	1,2	12,0
»	2,67	0,19	8,2	9,6	1,3	8,6
»	0,76	0,12	3,7	4,3	0,4	6,0
»	0,60	0,12	2,9	3,4	0,8	4,6
»	0,41	0,10	2,4	2,8	1,3	8,0
»	0,76	0,11	4,0	4,7	0,8	7,3
»	0,71	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	0,4	9,3
»	0,71	»	»	»	0,3	8,0
»	0,68	»	»	»	0,4	8,6
»	0,52	»	»	»	0,2	8,6
»	0,35	»	»	»	0,2	9,0
»	0,34	»	»	»	0,2	7,9
»	Нет свед.	»	»	»	0,2	7,3
97,0	»	1,29	»	»	46,1	118,0
73	9,05	0,48	10,7	»	2,8	19,0
65	6,20	0,32	11,3	»	2,3	13,4
62	5,92	0,29	11,6	»	1,8	11,8
64	2,75	0,14	11,2	»	1,7	8,3
76	0,87	0,08	5,9	»	1,8	10,6
78	1,01	0,15	3,8	»	1,6	11,3
81	1,08	0,16	4,0	»	1,5	10,1
83	0,74	0,08	5,2	»	1,7	9,8
84	0,82	Нет свед.	Нет свед.	»	1,5	10,1
85	0,80	»	»	»	1,3	9,2
84	0,80	»	»	»	1,4	8,0
86	0,78	»	»	»	1,3	9,8
89	0,64	»	»	»	1,0	10,2
89	0,47	»	»	»	1,5	12,2
83	Нет свед.	»	»	»	1,7	10,2

данным Н. И. Базилевич и Л. Н. Родина [22], общая фитомасса в южно-таежных лесах достигает 300—400 т/га. Основная ее часть — многолетняя, в почву поступает надземный опад растительности, образующий лесную подстилку и составляющий примерно 2 % общей фитомассы. Аналогичные данные по запасам фитомассы в лесных экосистемах южной тайги — 358,6 т/га — приводит В. А. Ковда [106].

Согласно последним обобщенным данным, запасы фитомассы в коренных южно-таежных лесах варьируют в пределах 125—360 т/га, причем наибольшей величины они достигают на территории европейской части СССР [21].

Количество мертвых растительных остатков составляет около 20 % запаса живой фитомассы, а на долю корней приходится от 16 до 30 %. Мелколиственные березовые леса обычно накапливают до 200 т/га фитомассы, доля корней составляет 43,9 т/га. Для березовых лесов южной тайги Западной Сибири запасы фитомассы оцениваются в 203—254 т/га, причем на долю листвы, ежегодно пополняющей запасы лесной подстилки, приходится 7,1—8,9 т/га [104]. Запасы лесной подстилки в южнотаежных лесах в зависимости от экологических условий варьируют существенно: от 7—10 до 30—35 т/га [21, 52, 122, 142]. Аналогичные сведения о запасах лесных подстилок в лесах Среднего Урала сообщаются в работах [192, 193, 211, 259, 260 и др.].

Несмотря на относительную полноту имеющихся в монографической литературе [21, 206, 251] данных о запасах и структуре фитомассы в экосистемах южной тайги, сведения о суммарном накоплении в пределах почвенного профиля массы живых корней растений и мертвых растительных остатков практически отсутствуют. Между тем от запасов живых подземных органов растений зависит обогащение почвы за счет корневых выделений наиболее мобильной и легкодоступной микроорганизмам фракции органических веществ, а грубодисперсные компоненты органической массы в основном содержат «потенциальный гумус». Степень подготовленности для гумусообразования разлагающихся растительных остатков, определяемая их внешним видом, является в свою очередь важным диагностическим признаком почв и протекающих в них процессов [215]. Кроме того, для наиболее полной характеристики органопрофиля изучаемых почв необходимы данные о запасах живого и мертвого органического вещества, аккумулированного в подземной сфере экосистемы.

В разрезе 11 определена масса подземных органов растений и растительных остатков разной степени разложения. Основная часть (до 95 %) корней лесной растительности сконцентрирована в верхнем (0—30 см) слое почвы, далее в глубь почвенного профиля мощность биомассы подземных органов плавно уменьшается, и на глубине 1 м и более можно обнару-

жить лишь единичные корни древесной растительности (их доля не превышает 0,5 %). В целом по профилю среди подземных органов преобладают (87,4 %) корни древесных растений. Основная масса корней травянистой растительности сосредоточена в слое 0—10 см, причем в значительном количестве они встречены и в лесной подстилке. Глубже 60 см корни травянистых растений в почвенном профиле не обнаружены. Причиной тому служат биологические особенности корневых систем, а также четкая дифференциация почвенного профиля по физическим и химическим свойствам. Очевидно, что максимально высокие значения плотности почвы (1,66—1,68 г/см^3), низкие значения общей пористости (45—50 %) и степени аэрации (25—35 %), а также содержания питательных элементов не способствуют проникновению корней травянистой растительности в иллювиальные горизонты.

В целом запасы корней в разрезе 11 в слое 0—100 см составили 56,89 т/га, из них мертвых растительных остатков — 24,22 т/га, причем в горизонте лесной подстилки мощностью всего 3 см сосредоточено 78,4 % всех остатков, что составляет 18,99 т/га. Собственно лесная подстилка довольно ясно дифференцируется на горизонты А01,А02 и А03 по внешним признакам разложенности и измельченности растительных остатков. В горизонте А03, в отличие от А01 и А02, растительные остатки сохранили лишь отдельные элементы анатомического строения: очертания, стенки тех или иных тканей и клеток, прожилки. В гумусово-аккумулятивном горизонте растительные остатки представлены преимущественно фракцией сильно разложившихся, уже частично гумифицированных растений. Глубже 40 см в почвенном профиле растительные остатки практически не встречаются, что связано с особенностями распространения в почве корней травянистых растений. Среди травянистой растительности немало однолетников, обогащающих почву органическим веществом за счет отмирания подземных органов.

Преобладание в почве сильно разложившихся, уже гумифицированных растительных остатков, очевидно, можно считать признаком принадлежности гумуса к варианту мулль-модер. Кроме того, зону скопления сильно трансформированных растительных остатков, сохранивших лишь отдельные элементы анатомического строения, обычно рассматривают как первую зону активного образования прогумусовых соединений, обилие и характер которых определяют дальнейшее направление почвообразования [215], а плавность перехода от органогенных горизонтов к минеральным свидетельствует о высокой общей биологической активности почвы.

Аналогичная картина в распределении в почве запасов живых подземных органов и растительных остатков отмечена в разрезе 12, который заложен в березняке травяном (табл. 7). Фитомасса корней в слое 0—100 см здесь оказалась несколько

Таблица 7

Запасы подземной растительной массы в почве лесных экосистем, т/га

№ разреза	Слой почвы, см	Живые корни растений			Мортмасса
		древесных	травянистых, кустарничков и пр.	в сумме	
11	0—20	42,57	6,34	48,91	23,98
	0—50	48,87	7,02	55,89	24,18
	0—100	49,72	7,17	56,89	24,22
12	0—20	26,40	3,35	29,75	19,65
	0—50	32,30	4,69	36,99	20,05
	0—100	33,19	4,70	37,89	20,07
4	0—20	Не разделяли		54,75	15,40
	0—50	»		60,84	16,32
	0—100	»		61,64	16,38

меньшей (37,89 т/га), чем в разрезе 11. Подобные различия связаны, очевидно, с возрастом древостоев. На долю подземной фитомассы травянистой растительности приходится 12,4 %, т. е. примерно столько же, сколько в разрезе 11.

Масса растительных остатков с учетом лесной подстилки составила 20,07 т/га, причем основное их количество находится также в гумусово-аккумулятивном горизонте. Запасы лесной подстилки составили 14,52 т/га. Среди растительных остатков, слагающих ее, в сравнении с разрезом 11 несколько больше слабо разложившихся остатков, которые сохраняли свою первоначальную форму и анатомическое строение. В гумусово-аккумулятивном горизонте доминируют растительные остатки, в которых сохранились лишь отдельные элементы их анатомического строения, т. е. сильно разложившиеся.

В почве спелого березняка-сосняка ягодниково-разнотравного (разрез 4) в слое 0—100 см оказались наиболее высокие запасы живых корней — 61,64 т/га (см. табл. 7). Это можно объяснить, очевидно, участием сосны в составе древостоя и возрастом лесообразующих пород. В структуре подземной фитомассы также преобладают корни древесных растений, их основное количество сконцентрировано в горизонтах А0, А1 и А1А2. Основная часть корней травянистых растений сосредоточена в горизонтах А0 и А1, на их долю в структуре подземных органов приходится 10—15 %.

Масса растительных остатков с учетом лесной подстилки (10,56 т/га) составила в описываемом разрезе 16,38 т/га, что несколько меньше, чем в разрезах 11 и 12. Среди растительных остатков, слагающих лесную подстилку, в сравнении с преды-

дущими разрезами преобладают слабо разложившиеся, для которых характерно относительное сохранение первоначальной формы и анатомического строения. Это обусловлено значительной долей хвои (до 90 %) в составе опада древесных пород, что замедляет процессы минерализации и гумификации растительных остатков. Подчеркнем незначительную по сравнению с древесным ярусом роль травянистой растительности в пополнении запасов подстилки, г/м^2:

Фракция опада древесных растений				Опад травянистой растительности	Масса всего опада	Запасы подстилки
Листва	Хвоя	Ветви, кора, шишки	Сумма			
241	66	58	365	46	411	1056

Опадо-подстилочный коэффициент (2,5), вычисленный как отношение массы подстилки к массе опада [23], свидетельствует о высокой скорости разложения мертвых растительных остатков на поверхности почвы в данном типе леса.

Таким образом, суммарный запас живого и мертвого растительного вещества в серых лесных почвах достигает значительных величин. В связи с этим необходимо подчеркнуть высокие потенциальные возможности лесной растительности в пополнении запасов гумусовых веществ за счет надземного и подземного опада («корнеопада») и корневых выделений. Преобладание в мортмассе фракции сильно разложившихся растительных остатков свидетельствует о высокой интенсивности процессов трансформации опада в лесных экосистемах. Этот факт подтверждается и опадо-подстилочным коэффициентом, который оказался в несколько раз выше величин, приводимых Н. И. Базилевич и Л. Е. Родиным [23] для таежных лесов.

3.3. СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Подробное изучение качественного состава гумуса почв лесных экосистем Урала и Зауралья было начато лишь в 70-х годах сотрудниками лаборатории лесного почвоведения ИЭРиЖ УрО АН СССР [63—65, 253, 256]. Выявлены региональные особенности в содержании гумусовых веществ, их запасах и профильном распределении в бурых, дерново-подзолистых и серых лесных почвах, дана характеристика фракционно-групповому составу гумуса, определены оптические свойства гумусовых веществ в названных типах почв. Показаны различия в системе гумусовых веществ светло- и темно-серых лесных почв [62], проведено сравнительное изучение запасов гумуса в серых лесных почвах

в Предуралье и Зауралье [262, 266]. Таким образом, к настоящему времени изучено гумусное состояние основных типов почв на Среднем Урале, однако вопросы антропогенного воздействия на органическую часть почвы освещены в литературе недостаточно. Отметим, что в отдельных работах [61, 252, 253] имеются лишь сведения о влиянии различных лесохозяйственных мероприятий на содержание и свойства гумусовых веществ в лесных почвах. Вопросы оценки изменений состояния органического вещества уральских почв под влиянием вовлечения их в сельскохозяйственное производство и последующего окультуривания затрагиваются довольно редко [191, 226].

Чтобы полнее оценить специфику гумусообразования в агроэкосистемах, необходима конкретная, разносторонняя и исчерпывающая информация о свойствах гумусовых веществ лесных почв, выбранных нами как целинные аналоги пахотных почв.

На примере разрезов 4, 11 и 12 рассмотрим особенности профильного распределения гумуса в почвах лесных экосистем. Гумусовый профиль в них характеризуется резким уменьшением содержания гумуса с глубиной. Распределение его в почвенном профиле можно охарактеризовать как эндоморфное [54]. Содержание гумуса в перегнойно-аккумулятивных горизонтах указанных разрезов довольно высокое — 6,0—9,0%, а уже в гумусово-элювиальных — уменьшается в 2 раза и более и в иллювиальных слоях почвенного профиля обычно не превышает 1 %. Очевидно, что наличие на значительной глубине (120—160 см) некоторого количества гумуса (0,3—0,4 %) обусловлено проникновением его с водными растворами. Такое вертикальное распределение гумуса, когда верхний (10—15 см) слой почвы, включая лесную подстилку, обогащен, а минеральная толща обеднена, характерно для лесного типа накопления почвенного органического вещества [209]. Подобное распределение гумуса в почвенном профиле объясняется характером поступления растительных остатков, служащих исходным материалом для образования гумуса. В нашем случае главные источники гумусовых веществ — лесная подстилка, травянистый покров, а также отмирающие корешки растений, которые сконцентрированы в гумусово-аккумулятивном горизонте.

Разрез 4, который был заложен под пологом березняка-сосняка ягодниково-разнотравного, отличается наименьшими содержанием и запасами в почве гумуса. Это связано, очевидно, с влиянием на гумусонакопление лесообразующих пород, которые определяют величину ежегодно поступающей в почву с надземным и подземным опадом органики [97, 192].

Известно, что березовые насаждения по сравнению с сосновыми в одних и тех же экологических условиях способствуют бóльшему накоплению гумуса в почвах [1, 2, 253]. Причиной различий в содержании гумуса и роли гуминовых кислот в его

составе являются неодинаковые интенсивность и характер биологического круговорота под березовыми и сосновыми лесами. Так, в сосняках запас подстилки обычно превышает количество ежегодного опада в 6—7 раз, а в березняке не более чем в 1,5 раза, тогда как суммарный опад в них приблизительно одинаков. Различен, по данным Ю. А. Абатурова [1—3], и характер разложения подстилки, что находит отражение в количестве и соотношении образующихся органических кислот: $C_{ГК} : C_{ФК}$ в подстилке березовых насаждений 1,12, а сосновых — 0,80. Этим и объясняются различия в содержании и запасах гумуса изучаемых почв.

В приспевающем березняке травяном (разрез 12) запасы гумуса в слое 0—100 см составили 194,37 т/га, а в гумусово-аккумулятивном горизонте мощностью 0—20 см — 101,30 т/га. В спелом березняке травяном (разрез 11) и приспевающем березняке-сосняке ягодниково-разнотравном (разрез 4) запасы гумуса в слоях 0—100 и 0—20 см оказались несколько меньшими и составили соответственно 133,33; 60,32 и 118,70; 52,48 т/га. Аналогичные величины запасов гумуса серых лесных почв в Зауралье приводит М. И. Дергачева [63, 64]. Согласно полученным ею данным, запасы гумуса в минеральной толще темно-серых лесных почв Зауралья составляют 405—458 т/га, а светло-серых — 116 т/га. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте равно соответственно 10—12 и 4 %.

Запасы азота в изученных почвах составили в разрезе 4 в слое 0—20 см 5,92 т/га и в слое 0—50 см — 12,34 т/га. В разрезах 11 и 12 они оказались несколько меньшими. В слое 0—20 см в почве спелого березняка травянистого сосредоточено 4,47 т/га азота, а в слое 0—50 см — 9,35 т/га. В приспевающем березняке травяном запасы составили соответственно 5,35 и 10,81 т/га. Полученные данные хорошо согласуются с имеющимися в литературе [63, 64, 117, 247, 248]. Так, по данным М. М. Кононовой [117], в серых лесных почвах запасы азота в слое 0—20 см составляют 6,0 т/га, а в слое 0—50 см — 12,0 т/га.

Наряду с содержанием гумуса и азота о потенциальном плодородии почвы дает достоверное представление величина отношения C : N, она характеризует также обогащенность гумуса азотом, косвенно указывает на степень гумифицированности органического вещества и позволяет при сравнительном анализе судить о направленности процесса гумификации [189]. По мнению В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [209], весьма информативным при характеристике органического вещества лесных почв является процентное содержание азота в гумусе. Для изученных почв характерна низкая и средняя обогащенность гумуса азотом в гумусово-аккумулятивных горизонтах, а для иллювиальных — высокая и очень высокая (табл. 8). Более широкое отношение C : N в гумусово-аккумулятивных го-

Таблица 8

Содержание углерода, азота и степень гумификации органического вещества в профиле серой лесной почвы (разрез 12)

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Содержание, %		C : N	C : N атомное	N в гумусе, %
		C	N			
A0	0—1	Нет свед.	1,29	Нет сведений		
A1	1—5	5,24	0,48	10,7	12,5	5,4
A1	5—10	3,59	0,31	11,3	13,2	5,1
A1	10—15	3,43	0,29	11,6	13,6	5,0
A1	15—19	1,59	0,14	11,2	13,1	5,2
A2B1	19—24	0,50	0,08	5,9	6,9	9,7
B1	24—30	0,58	0,15	3,8	4,4	15,0
B1	30—40	0,63	0,15	4,0	4,7	14,6
B1	40—50	0,43	0,08	5,2	6,1	11,2
B1	50—60	0,47	Нет сведений			

ризонтах этих почв обусловлено относительно высоким содержанием в составе гумуса этих горизонтов гуминовых кислот, в последних отношение C : N, по М. М. Кононовой [117], равно 14—15. Кроме того, в верхних горизонтах почвенного профиля отмечено наличие большого количества сильно измельченных почвенной фауной полуразложившихся и уже частично гумифицированных растительных остатков, полное удаление которых при подготовке почвы к анализу не представляется возможным, что также способствует расширению отношения C : N.

В заключение еще раз подчеркнем, что для целинных серых лесных почв характерно высокое содержание гумуса при резком его уменьшении с глубиной, а запасы гумусовых веществ в слоях 0—20 и 0—100 см варьируют от низких до средних.

3.4. ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА ЦЕЛИННЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Определен фракционно-групповой состав гумуса в разрезе 11 до глубины 90 см и в разрезе 12 — до глубины 120 см. Данная глубина отбора образцов обусловлена тем, что гумус в вертикальном профиле этих почв очень резко дифференцирован по составу и свойствам и ограничиваться характеристикой состава гумуса только верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта недостаточно [209].

Изучение состава гумуса в профиле целинной серой лесной почвы в спелом березняке травяном (табл. 9, разрез 11) позволяет отметить преобладание в групповом составе органиче-

ского вещества верхних горизонтов группы гуминовых кислот (ГК). Отношение общих количеств ГК к фульвокислотам (ФК) в гумусово-аккумулятивном горизонте больше единицы. Только лесная подстилка характеризуется более узким отношением $C_{ГК}$: $C_{ФК}$ — 0,75. По С. В. Зонну [84], тип гумусовых веществ данной подстилки гуматный, а гумусонакопление здесь интенсивное. В нижележащих слоях почвы (3—9 и 9—15 см) отношение ГК : ФК расширяется и составляет соответственно 1,02 и 1,23, тип гумуса становится гуматно-фульватным. Подобный тип гумуса характерен для верхних горизонтов серых лесных почв Урала и Зауралья [63, 64, 209]. Однако в других регионах в этих же горизонтах, а иногда и во всем профиле серой лесной почвы преобладают не ГК, а ФК [209].

В рассматриваемом разрезе с глубины 15—27 см (А1А2) в составе гумуса начинают преобладать ФК и отношение ГК : ФК меняется от 0,42 в этом горизонте до 0,21—0,19 в нижележащих. Таким образом, в иллювиальном слое профиля в составе гумуса значительно преобладают фракции ФК, тип гумуса — фульватный (см. табл. 9).

В различных частях почвенного профиля в составе ГК наблюдаются определенные изменения в соотношении отдельных фракций (табл. 10). Наибольший интерес представляет изменение по профилю соотношения фракций 2 и 1 гуминовых кислот (ГК2 и ГК1). Максимальное относительное содержание ГК1 (бурых ГК, непрочно связанных с полуторными окислами, или по прежней терминологии — ульминовых) отмечено в верхних слоях почвы, %: в А0 — 41,4, в А1 — 26—38 от суммы ГК в целом. Данная фракция ГК устойчива к растворению в воде, чем можно еще объяснить повышенную концентрацию бурых ГК в верхней части профиля и относительно низкое их содержание — в иллювиальных горизонтах.

Распределение в почве фракции гуминовых кислот, связанной в основном с кальцием (ГК2), носит иной характер. Максимальная концентрация ГК2 отмечена в средней части профиля, т. е. в гумусово-элювиальном горизонте, а самая низкая — в горизонте А0 и верхней части А1 (3—9 см). Полученные нами данные согласуются с современными представлениями о гумусном состоянии серых лесных почв [38, 67, 209, 233]. Известно, что в серых лесных почвах верхний гумусовый горизонт обедняется гуматами Са за счет значительного их вымывания вниз, где на определенной глубине они осаждаются на гранях структурных отдельностей в виде тонких черных планочек — «гумусовых зеркал».

Рассмотренные факты и определили изменение соотношения ГК2 : ГК1 по почвенному профилю: в его верхней части этот показатель равен 0,3—0,6, на глубине 9—15 см (нижняя часть гумусового горизонта) — 2,0, а в горизонте В1 — 2,3. По мере дальнейшего продвижения вниз по профилю отношение

Таблица 9

Фракционно-групповой состав гумуса серой лесной почвы (разрез 11), % к $C_{общ}$

Горизонт	Глубина, см	$C_{общ}$ в почве, %	Фракция ГК				Фракция ФК					Сумма фракций	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$
			1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма			
А0	0—3	39,30	4,8	1,5	5,3	11,6	1,9	9,5	0,9	3,2	15,5	27,1	72,9	0,75
A_1	3—9	3,77	5,3	3,1	5,4	13,8	3,8	7,2	1,0	1,6	13,6	27,4	72,6	1,02
А1А2	9—15	1,51	6,0	12,2	4,9	23,1	7,1	7,9	1,2	2,6	18,8	41,9	58,1	1,23
А1А2	15—27	0,43	2,6	4,0	6,6	13,2	14,5	5,2	10,6	1,3	31,6	44,8	55,2	0,42
В1	27—40	0,23	1,5	3,4	2,4	7,3	17,1	0,9	18,6	2,2	38,8	46,1	53,9	0,19
В1	50—60	0,38	1,1	1,7	2,8	5,6	11,3	3,1	9,6	2,8	26,8	32,4	67,6	0,21
В2	80—90	0,28	1,5	2,1	3,8	7,4	7,7	0,4	19,5	11,9	39,5	46,9	53,1	0,19

Таблица 10

Соотношение отдельных фракций гумусовых веществ в серой лесной почве (разрез 11)

Горизонт	Глубина, см	ГК1, % к ГК	ГК2, % к ГК	ГК3, % к ГК	$\frac{ГК2}{ГК1}$	$\frac{ГК}{ГМ}$	$\frac{ГК1}{ФК1}$	$\frac{ГК2}{ФК2}$	$\frac{ГК3}{ФК3}$	$\frac{ФК1а}{ФК}$
А0	0—3	41,3	12,9	45,6	0,31	0,1	0,5	1,7	1,7	12
А1	3—9	38,4	22,4	39,1	0,58	0,2	0,7	3,1	3,4	28
А1А2	9—15	25,9	52,9	21,2	2,03	0,4	0,8	10,2	1,9	38
А1А2	15—27	19,7	30,3	50,0	1,54	1,2	0,5	0,4	0,5	46
В1	27—40	20,5	46,6	32,8	2,26	0,1	1,7	1,9	1,1	44
В1	50—60	19,6	30,3	50,1	1,54	0,1	0,4	0,8	1,0	42
В2	80—90	20,2	28,3	51,5	1,40	0,1	3,57	0,1	0,3	19

ГК2 : ГК1 начинает сужаться и в горизонте В2 (80—90 см) составляет 1,4. Эти данные свидетельствуют о значительной миграции ГК2 в иллювиальные горизонты. Содержание фракции 3 гуминовых кислот, связанной с глинистой фракцией и устойчивыми полуторными окислами, по всему профилю высокое. Следует отметить, правда, некоторое уменьшение относительного содержания этой фракции в гумусово-элювиальной части горизонта (9—15 см). Очевидно, этот слой почвы беден глинистыми минералами вследствие их выноса в нижележащие горизонты.

Интересную информацию о групповом составе гумуса дает еще один показатель — отношение содержания ГК к негидролизуемому остатку, или гуминам (ГМ) ($C_{ГК}$: $C_{ГМ}$) [209]. По мнению М. М. Кононовой [117], гумины представляют собой ГК, прочно связанные с минеральной частью почвы. В ряде случаев ГМ могут быть представлены и неполностью гумифицированными растительными остатками, нередко обуглившимися. Последние в том или ином количестве присутствуют во всех почвах.

В нашем случае почва характеризуется довольно высоким абсолютным содержанием негидролизуемого остатка в верхней части профиля. В горизонте А0 ГМ существенно преобладают над ГК и $C_{ГК} : C_{ГМ} = 0{,}1$. В собственно перегнойно-аккумулятивном горизонте количество ГМ постепенно снижается, а количество ГК возрастает. Поэтому $C_{ГК} : C_{ГМ}$ расширяется до 1,4 в слое 9—15 см. С глубиной происходит значительное сужение этого отношения, и в нижней части почвенного профиля негидролизуемый остаток преобладает над ГК. Однако относительное содержание ГМ в В2 невелико — 19,3%, т. е. здесь мы наблюдаем максимум растворимости гумуса.

Профильное распределение ФК носит противоположный характер. Самая малая доля их (15—32 % от общего углерода) обнаружена в аккумулятивной толще почвенного профиля. С глубиной относительное содержание ФК постоянно увеличивается, достигая в нижней толще почвенного профиля 46—68 % от общего углерода.

Наиболее подвижной фракцией ФК является «агрессивная» (фракция 1а). Максимум ее накопления в разрезе обнаружен в иллювиальном горизонте, где она составляет 20—29 % от общего углерода почвы, или 35—50 % от общей суммы ФК. Фульвокислоты фракции 1 в значительных количествах обнаружены лишь до глубины 60 см, ниже в горизонте В2 (80—90 см) их содержание незначительно (0,6 % от общего углерода почвы).

Распределение с глубиной фульватов кальция (фракция 2) позволяет отметить постепенное их увеличение в составе гумуса в нижней части почвенного профиля (до 32—33 % от общего углерода почвы). В верхней (15—20 см) толще почвы наблю-

дается очень низкое содержание этой фракции (0,9—2,1 % от общего углерода почвы).

Относительное содержание фракции 3 ФК в составе гумуса с глубиной практически не изменяется (2,2—4,5 %), и только в горизонте В2 наблюдаем существенное увеличение ее доли в составе гумуса (20,5 %). Степень гумификации по почвенному профилю меняется от средней в гумусово-аккумулятивном горизонте до слабой и очень слабой в иллювиальной толще.

В разрезе 12 (табл. 11), подобно почве разреза 11, в верхней (0—20 см) части почвенного профиля в составе гумусовых веществ преобладают ГК и тип гумуса фульватно-гуматный. В горизонте А0 отношение ГК : ФК составило 0,71—0,79 и процессы гумусонакопления, как и в предыдущем разрезе, идут интенсивно с образованием гумуса гуматного типа.

В гумусово-аккумулятивном горизонте преобладают гуминовые кислоты, выделяемые при непосредственной обработке почвы 0,1 N NaOH, которые составляют в 20-сантиметровой толще до 63% от общей суммы ГК (или до 24% от общего углерода). Их содержание по системе показателей гумусного состояния почв [56, 57] в горизонте А0 — среднее, А1 — высокое.

Полученные данные (табл. 11, 12) свидетельствуют, что и в данном разрезе кальций играет значительную роль в закреплении ГК, однако относительное содержание гуматов кальция в гумусово-аккумулятивном горизонте меньше, чем содержание ГК фракций 1 и 3. И только в иллювиальном горизонте гуматы Са начинают доминировать в составе ГК. Здесь их относительное содержание изменяется до высокого.

Гуминокислоты фракции 3 в разрезе 12 в верхней (0—5 см) толще почвенного профиля составляют до 38—46 % от общей суммы ГК, т. е. их содержание высокое, а в средней и нижней частях гумусово-аккумулятивного горизонта — среднее. Иллювиальные горизонты характеризуются высоким содержанием ГК данной фракции. Очевидно, наблюдаемая тенденция относительного увеличения содержания в иллювиальном горизонте ГК фракции 3 происходит за счет прочной их связи с глинистыми минералами минеральной части почвы. Все фракции ФК составляют небольшую долю от общего углерода в верхней части профиля, а на границе горизонтов А2В и иллювиального наблюдается резкий скачок в увеличении их относительного содержания (до 51 % от общего углерода). В нижележащих слоях почвенного профиля содержание и распространение их различно. Так, содержание «агрессивной», наиболее подвижной, фракции ФК (1а) в верхней части профиля среднее, а с глубиной оно изменяется до высокого. Фульвокислоты фракции 1, как и гуминовые, в значительных количествах обнаружены только до глубины 40—50 см, а далее вниз по профилю их содержание плавно уменьшается и в нижней части горизонта В2 не превышает 1 %.

Таблица 11

Фракционно-групповой состав гумуса серой лесной почвы (разрез 12), % к $C_{общ}$

Глубина, см	$C_{общ}$, %	Фракция ГК				Фракция ФК					Сумма фракций	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$
		1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма			
0—1	32,5	6,8	1,8	7,4	16,0	3,1	15,3	1,7	2,3	22,4	38,4	61,6	0,71
1—5	5,09	14,2	4,6	11,7	30,5	4,7	19,6	6,4	8,1	38,8	69,3	30,7	0,79
5—10	3,53	23,8	7,7	6,8	38,3	5,0	18,8	6,9	4,5	35,2	73,5	22,5	1,09
10—15	3,36	24,0	7,2	7,0	38,2	6,0	15,4	6,7	4,6	32,7	70,9	29,1	1,17
15—19	1,55	23,8	5,5	8,4	37,7	6,9	11,2	6,6	4,8	29,5	67,2	32,8	1,28
19—24	0,49	6,7	8,4	6,7	21,8	19,6	10,2	20,2	1,1	51,1	72,9	27,1	0,43
24—30	0,57	3,1	5,7	4,5	13,3	4,7	20,0	6,8	4,5	36,0	49,3	50,7	0,37
40—50	0,42	5,0	3,0	4,2	12,2	9,5	9,7	23,9	4,2	47,3	59,5	40,5	0,26
70—80	0,45	1,6	7,9	2,9	12,4	8,9	6,6	12,5	3,7	31,7	44,1	55,9	0,39
101—120	0,36	0,6	5,2	4,7	10,5	14,7	1,0	15,7	3,5	35,0	45,5	54,5	0,30

Таблица 12

Соотношение отдельных фракций гумусовых веществ в серой лесной почве (разрез 12)

Глубина, см	ГК1, % к ГК	ГК2, % к ГК	ГК3, % к ГК	$\frac{ГК2}{ГК1}$	$\frac{ГК}{ГМ}$	$\frac{ГК1}{ФК1}$	$\frac{ГК2}{ФК2}$	$\frac{ГК3}{ФК3}$	$\frac{C_{ФК\,1а}}{C_{ФК}}$
0—1	42,5	11,25	46,25	0,26	0,3	0,4	1,1	3,2	13
1—5	46,5	15,1	38,4	0,32	0,9	0,7	0,7	1,4	12
5—10	62,1	20,1	17,8	0,32	1,7	1,3	1,1	1,5	14
10—15	62,8	18,8	18,3	0,30	1,3	1,6	1,1	1,5	18
15—19	63,1	14,6	22,3	0,23	1,1	2,1	0,8	1,7	23
19—24	30,7	38,5	30,8	1,25	0,8	0,6	0,4	6,0	38
24—30	23,3	42,9	33,8	1,84	0,3	0,1	0,8	1,0	13
40—50	41,0	24,6	34,4	0,60	0,3	0,5	0,1	1,0	20
70—80	12,9	63,7	23,4	4,90	0,2	0,2	0,6	0,7	28
101—120	5,7	49,5	44,8	8,60	0,2	0,6	0,3	1,3	42

Распределение с глубиной двух других фракций ФК (2 и 3) позволяет отметить низкое их содержание в верхней части почвенного профиля в горизонтах А0 и А1 и постепенное увеличение их количества в составе гумуса в иллювиальных горизонтах. Профильное распределение гуминов аналогично таковому в разрезе 11.

Следует отметить однотипное профильное изменение фракционно-группового состава гумуса в обоих изученных лесных разрезах. Те незначительные различия, которые зафиксированы в содержании и соотношении отдельных фракций гумусовых веществ в ряде почвенных слоев, обусловлены в основном мощностью генетических горизонтов или особенностями влияния растительности на процессы гумусообразования, а не спецификой почвообразовательных процессов.

В обоих разрезах содержание общего гумуса имеет плавный характер убывания. Это объясняется тем, что по составу гумус серых лесных почв сложный, многокомпонентный, и в процессе его вертикального распределения резкое уменьшение с глубиной одних фракций компенсируется передвижением туда других фракций. В. В. Пономарева и Т. А. Плотникова [209] считают, что непременным диагностическим признаком типа серых лесных почв являются отчетливо выраженные явления миграции из верхней части профиля в среднюю и нижнюю ГК фракции 2, неполно усредненных Са, с незначительным количеством ФК. Это обусловливает отношение С широкое $_{ГК}2 : С_{ФК}2$, вплоть до полного отсутствия ФК в горизонте максимальной аккумуляции миграционно-способных фракций гумусовых веществ.

Анализ данных фракционного состава двух основных компонентов гумуса — ГК и ФК позволяет отметить, что гумусовый профиль изучаемых почв разделен как бы на две части, которые различаются по связи гумусовых кислот с минеральной частью почвы и характеру их распределения. Сравнивая полученные данные о фракционно-групповом составе гумуса изученных серых лесных почв с аналогичными материалами М. И. Дергачевой [63, 64] по темно-серым и светло-серым лесным почвам, можно отметить, что доля ГК фракции 2 в составе гумуса изученных почв меньше, чем в темно-серых, и больше, чем в светло-серых. Гуминокислоты фракции 3 равномернее распределены в почвенном профиле. Заметим также, что гумус серых лесных почв исследуемой территории в целом соответствует сложившимся представлениям об органическом веществе почв этого типа [38, 39, 63, 64, 209]. Согласно взглядам В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой на критерии подразделения серых лесных почв на подтипы по качественному составу гумуса, рассмотренные разрезы следует отнести к подтипу серых лесных почв, поскольку в них в верхней части профиля преобладают ГК фракции 1.

3.5. СТРУКТУРА ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Известно, что каждый тип экосистем характеризуется определенными запасами и структурой органического вещества как в подземной, так и в надземной сферах [24, 163, 174, 183, 298]. Основным показателем структуры экосистем является соотношение между живым и мертвым органическим веществом, причем в состав последнего входят не только растительные остатки, но и почвенный гумус [21]. Поскольку сведения о структуре запасов органического вещества в почвах лесных экосистем рассматриваемого региона отсутствуют, то нами была предпринята попытка провести такие исследования.

Установлено, что в почве под лесом общий запас живого (фитомасса подземных органов растений), мертвого органического вещества в виде растительных остатков (мортмассы) и гумуса (табл. 13) достигает значительных величин (200—250 т/га). Больше всего органического вещества обнаружено в почве под пологом приспевающего березняка травяного (разрез 12). В структуре запасов почвенного органического вещества во всех разрезах (4, 11 и 12) ведущее место принадлежит гумусу (см. табл. 13). С глубиной доля гумусовых веществ в структуре запасов органического вещества почвы неуклонно возрастает. Так, в разрезе 12 запасы гумуса в почвенном профиле в целом превысили таковые живых корней в 5,1 раза, в слое 0—50 см — в 3,9 раза, а в гумусово-аккумулятивном горизонте — в 3,4 раза. На долю мертвых растительных остатков, выступающих в роли «потенциального гумуса», в этом разрезе в слоях 0—100, 0—50 и 0—20 см пришлось соответственно 8, 10 и 13 % от общих запасов органического вещества, аккумулированного в почве. Соотношение запасов живого и мертвого органического вещества в указанных слоях рассматриваемого разреза составило соответственно, 0,17; 0,23 и 0,28, т. е. во всех горизонтах почвенного профиля запасы мортмассы и гумуса доминируют над фитомассой подземных органов растений.

Аналогичные данные по участию растительных остатков в структуре запасов органики в почвах лесных экосистем получены и в двух других разрезах (см. табл. 13). Результаты согласуются с данными о содержании и запасах общего органического углерода и углерода предгумусовой фракции (табл. 14, 15). Большое количество углерода (см. табл. 15) свидетельствует о высокой потенциальной способности исследованных почв к гумусонакоплению. Основные резервы «потенциального гумуса» в виде растительных остатков разной степени разложения сконцентрированы в верхней части почвенного профиля, преимущественно в подстилке и гумусовом горизонте.

Полученные сведения о структуре запасов органического вещества в серых лесных почвах Зауралья согласуются с анало-

Таблица 13

Структура запасов органического вещества в почвах лесных экосистем

Растительность	Слой почвы, см	Запасы живого и мертвого органического вещества, т/га	В том числе, %		
			Гумус	Живые подземные органы растений	Растительные остатки разной степени разложения
		Разрез 4			
Спелый березняк-сосняк ягодниково-разнотравный	0—20	122,63	44,8	42,6	12,6
	0—50	162,41	52,5	37,5	10,0
	0—100	196,72	60,4	31,3	8,3
		Разрез 11			
Спелый березняк травяной	0—20	133,27	45,3	36,7	18,0
	0—50	166,35	51,8	33,6	14,6
	0—100	214,44	62,2	26,5	11,3
		Разрез 12			
Приспевающий березняк травяной	0—20	150,60	67,3	19,9	13,0
	0—50	199,98	71,5	18,5	10,0
	0—100	252,33	77,0	16,0	8,0

Таблица 14

Содержание общего углерода и его водорастворимых форм, углерода предгумусовой фракции в целинной серой лесной почве (разрез 12, июль 1986 г.), %

Глубина, см	$C_{общ}$	С водорастворимой фракции		С предгумусовой фракции
		к абсолютно сухой почве	от $C_{общ}$	
0—1	33,66	1,190	3,54	Нет свед.
1—5	6,56	0,145	2,21	1,31
5—10	3,96	0,071	1,79	0,36
10—15	3,79	0,082	2,16	0,35
15—19	1,89	0,060	3,17	0,29
19—24	0,60	0,010	1,67	0,09
24—30	0,64	0,011	1,72	0,06
30—40	0,66	0,010	1,51	0,03
40—50	0,44	0,010	2,27	0,01
50—60	0,47	0,018	3,83	0,00
60—70	0,46	0,017	3,69	0,00
70—80	0,45	0,010	2,22	0,00
80—100	0,37	0,010	2,70	0,00
100—120	0,27	Нет свед.	Нет свед.	0,00

Таблица 15

Запасы общего углерода, углерода предгумусовой фракции и гумуса в целинной серой лесной почве, т/га

Слой почвы, см	$C_{общ}$	С предгумусовой фракции	Гумус
Разрез 12, июль 1986 г.			
0—20	71,20	9,41	101,30
0—50	97,11	11,10	142,94
0—100	131,19	—	194,37
Разрез 11			
0—20	55,25	10,25	60,32
0—50	72,72	12,93	86,25
0—100	99,89	—	133,33

гичными в литературе [21] для широколиственных лесов лесостепной зоны. В исследованных нами почвах в структуре запасов почвенного органического вещества ведущее положение занимает гумус.

ГЛАВА 4

ВЛИЯНИЕ ОСВОЕНИЯ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Многочисленные литературные данные [5, 6, 25—27, 101, 102, 150, 141, 143, 164, 191, 199, 218, 270, 292] убедительно показывают, что вовлечение почв в сельскохозяйственное использование (пашню) сопровождается значительным уменьшением в разных регионах страны содержания и запасов в них гумуса по сравнению с их целинными аналогами. Ф. И. Левин [50] считает, что основной причиной неизбежного снижения содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах в первые годы их сельскохозяйственного освоения является механическое перемешивание подстилки и перегнойно-аккумулятивного горизонта с нижележащим слоем, бедным органическим веществом. Однако интенсивная дегумификация наблюдается и в тех почвах, где пахотный горизонт не выходит за пределы гумусово-аккумулятивного [25, 109, 110].

Очевидно, не менее важной причиной потерь гумуса при сельскохозяйственном использовании почв, даже не подвергающихся эрозии, является усиление интенсивности минерализации корневых остатков на общем фоне более низкой их биомассы по сравнению с целинными лесными почвами, вследствие чего уменьшается потенциальная способность почвы к гумусонакоплению.

Дальнейшие потери органического вещества почвой связаны с технологией возделывания сельскохозяйственных культур (способами обработки почвы, внесением минеральных и органических удобрений, известкованием, структурой севооборота и др.). Показано, например [141, 180], что в почвах зернопропашных севооборотов происходит статистически достоверное уменьшение содержания гумуса по сравнению с почвами зернотравяных севооборотов. Отмечается также снижение содержания гумуса под влиянием минеральных удобрений в овощных севооборотах и льняном [271]. По данным Л. Л. Щетининой с соавторами [291], даже в результате 22-летнего применения удобрений

(NPK + навоз 8,1 т/га) в пахотном слое серой лесной почвы существенно снизилось содержание гумуса, усилилась миграция водорастворимых органических соединений в нижележащие горизонты.

Р. К. Сигнаевским и Н. А. Ивановым [226] на примере серых лесных почв Предуралья и Зауралья показано, что в освоенных почвах при низкой культуре земледелия уменьшаются содержание и запасы гумуса и наблюдается более плавное, чем в целинных, распределение его с глубиной. Т. С. Павловой [191] сообщаются данные, показывающие, что в дерново-подзолистых почвах Зауралья за первые восемь лет их сельскохозяйственного использования при нерегулярном внесении органических и минеральных удобрений содержание гумуса в верхней части профиля снизилось с 4,95 до 1,45 % и через 50 лет стабилизировалось на уровне 2,58 %. Подобные примеры можно было бы продолжить.

Мнения о влиянии минеральных удобрений на содержание гумуса пахотных почв противоречивы. Одни [157, 226] утверждают на примере серых лесных почв Предуралья, что внесение минеральных удобрений способствует стабилизации гумуса, другие [180, 212, 287] считают, что при внесении только минеральных удобрений или только извести, или при их сочетании в почве преобладают ярко выраженные минерализационные процессы, сопровождающиеся уменьшением содержания гумуса, снижением его водорастворимых форм.

Таким образом, процесс дегумификации в пахотных почвах обусловлен совокупностью причин, идет он повсеместно, но степень его проявления неадекватна в разных экологических условиях. По мнению А. А. Завалишина [81], понижение запаса органического вещества в пахотных почвах по отношению к исходным видам лесных почв происходит тем больше, чем богаче органическим веществом лесная почва при прочих равных экологических условиях. В черноземных почвах при превращении их в пашню на величину потери гумуса накладывает отпечаток зональность: потери гумуса в степных черноземах оказываются относительно больше, чем в лесостепных [276]. Кроме того, убыль гумуса наблюдается не только в пахотном, но и в более глубоких горизонтах [290].

Несомненно, стабилизация этого процесса может быть достигнута (и таких примеров в литературе много) при совместном систематическом внесении минеральных и особенно органических удобрений. Однако и в этой проблеме много дискуссионных вопросов, главным из которых является определение норм и видов удобрений, способствующих оптимизации содержания гумуса в почвах, обеспечивающих их высокую биопродуктивность. При этом нужно учитывать, что возможность применения органических удобрений ограниченна. В этой связи представляет большой интерес оценка влияния на содержание, запа-

сы и качественный состав гумуса длительности сельскохозяйственного использования почв без внесения в них органических удобрений. Для сравнительного изучения были выбраны три участка одного полевого массива, различающиеся сроками сельскохозяйственного освоения (5, 30 и свыше 80 лет). На всех участках последние пять лет возделывались культуры трехпольного зернотравяного севооборота по одинаковой технологии: обработка почвы отвальная, известкование регулярное, внесение минеральных удобрений из расчета на планируемый урожай, без внесения органики. Таким образом, единственным источником пополнения запасов почвенного органического вещества были пожнивно-корневые остатки сельскохозяйственных растений.

4.1. РОЛЬ ПОЖНИВНО-КОРНЕВЫХ ОСТАТКОВ В НАКОПЛЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Вопросам накопления в почвах агроэкосистем пожнивно-корневых остатков посвящена обширная литература [14, 30, 32, 33, 40, 47, 60, 80, 103, 151, 162, 182, 195, 216, 222, 225, 229, 234, 268, 269, 277, 293]. В связи с решением проблемы сохранения гумуса в пахотных почвах интерес к растительным остаткам полевых культур как резерву органических веществ в почвах агроценозов в последние годы значительно возрос [43, 46, 48, 70, 71, 75, 100, 133, 152, 153, 175, 176, 228, 231, 243, 296]. В результате установлено, что количество растительных остатков, остающееся на поле после уборки урожая, существенно варьирует в зависимости от биологических особенностей выращиваемой культуры, почвенно-климатических условий, уровня агротехники и ряда других причин. Для Среднего Урала такие сведения единичны [83, 88], поэтому нами не только была проведена тщательная оценка запасов и структуры фитомассы в изучаемых экосистемах, но и учтено количество пожнивно-корневых остатков за ротацию севооборота. Причем запасы фитомассы и ее структура определены для посевов овса на зеленую массу, а количество стерни и корневых остатков для двух других культур севооборота рассчитано по величине их урожайности с помощью уравнений регрессии, предложенных Ф. И. Левиным [151] для этих целей.

Определение запасов фитомассы в посевах овса проведено в следующие фенологические фазы развития растений: кущения, трубкования и выметывания, причем в середине последней фазы овес был скошен на зеленый корм. Результаты свидетельствуют, что в начальный период вегетации (фаза кущения) наибольшие запасы надземной фитомассы отмечены на пашне, которая эксплуатируется 30 лет, а наименьшие — на участке с 5-летним сроком сельскохозяйственного использования (табл. 16). Поскольку в посевах было обнаружено значитель-

Таблица 16

Запасы фитомассы и ее структура в агроэкосистемах разных сроков сельскохозяйственного освоения (посевы овса на зеленый корм)

Показатель	Фенологическая фаза		
	Кущение	Выход в трубку	Выметывание
5-летняя пашня			
Надземная фитомасса культурных растений, г/м²	116,0±3,93	299,3±11,26	561,0±14,86
Количество культурных растений, шт/м²	326,5±4,09	304,3±6,11	268,8±10,65
Подземная фитомасса культурных растений, г/м²	Нет свед.	Нет свед.	215,0±7,48
Масса одного растения, г	0,356±0,0128	0,983±0,0328	2,092±0,0403
Коэффициент продуктивности корневой системы	Нет свед.	Нет свед.	2,61
Надземная фитомасса сорных растений, г/м²	33,8±4,59	106,2±12,34	104,7±12,50
Подземная фитомасса сорных растений, г/м²	Нет свед.	Нет свед.	48,0±11,31
Количество сорных растений, шт/м²	93,0±15,01	101,3±7,80	113,3±8,92
Запасы фитомассы в экосистеме, г/м².			
надземные	149,8±2,04	405,5±10,09	665,7
подземные	—	—	263,0
Итого	—	—	928,7
30-летняя пашня			
Надземная фитомасса культурных растений, г/м²	97,5±3,51	238,1±7,58	526,8±10,84
Количество культурных растений, шт/м²	323,6±9,37	300,6±6,53	250,3±3,74
Подземная фитомасса культурных растений, г/м²	Нет свед.	Нет свед.	200,7±8,55
Масса одного растения, г	0,303±0,0116	0,793±0,0249	2,104±0,0240
Коэффициент продуктивности корневой системы	Нет свед.	Нет свед.	2,62
Надземная фитомасса сорных растений, г/м²	78,5±8,39	101,3±7,13	109,7±7,39
Подземная фитомасса сорных растений, г/м²	Нет свед.	Нет свед.	42,0±12,38
Количество сорных растений, шт/м²	106,2±12,99	108,3±8,04	96,8±8,16

Окончание табл. 16

Показатель	Фенологическая фаза		
	Кущение	Выход в трубку	Выметывание
Запасы фитомассы в экосистеме, г/м²			
надземные	176,0±9,66	339,5±7,35	636,5
подземные	—	—	242,7
Итого	—	—	879,2
80-летняя пашня			
Надземная фитомасса культурных растений, г/м²	100,3±3,89	299,5±4,88	505,5±5,88
Количество культурных растений, шт/м²	312,0±7,64	297,7±5,09	258,0±3,45
Подземная фитомасса культурных растений, г/м²	Нет свед.	Нет свед.	211,7±10,23
Масса одного растения, г	0,321±0,0057	1,007±0,0276	1,959±0,0053
Коэффициент продуктивности корневой системы	Нет свед.	Нет свед.	2,38
Надземная фитомасса сорных растений, г/м²	56,5±11,51	64,8±19,39	111,3±12,57
Подземная фитомасса сорных растений, г/м²	Нет свед.	Нет свед.	43,3±8,52
Количество сорных растений, шт/м²	99,0±12,82	103,8±19,37	96,8±12,12
Запасы фитомассы в экосистеме, г/м²			
надземные	156,8±11,88	364,3±13,31	616,8
подземные	—	—	255,0
Итого	—	—	871,8

ное количество сорных растений, преимущественно однолетников, вклад культурных и сорных растений в общий запас надземной фитомассы был оценен по отдельности. Оказалось, что в агроэкосистеме с 5-летним сроком использования почвы запасы фитомассы культурных растений максимальны (116,0 г/м²) при максимальной плотности посевов (326,5 шт/м²) и наименьшей их засоренности (93 шт/м²), а минимальный запас надземной фитомассы овса (97,5 г/м²) отмечен на почвах с 30-летним сроком использования в пашне при максимальной засоренности (106,2 шт/м²).

К фазе трубкования во всех вариантах увеличились запасы надземной фитомассы растений овса и возросла засоренность посевов (см. табл. 16). К моменту уборки урожая (фаза выметывания) запасы надземной фитомассы на пашне 5-, 30-, 80-летнего срока составили соответственно 665,7; 636,5 и 618,8 г/м²,

Таблица 17

Накопление пожнивно-корневых остатков культурами зернотравяного севооборота в почвах агроэкосистем, различающихся сроками их сельскохозяйственного освоения, т/га

Срок использования почвы	Культуры севооборота	Корни	Стерня	Всего
5 лет	Однолетние травы (овес на зеленую массу)	2,63	0,78	3,41
	Озимая рожь	2,09	0,92	3,01
	Ячмень	1,93	0,82	2,75
	За ротацию севооборота	6,65	2,52	9,17
30 лет	Однолетние травы (овес на зеленую массу)	2,43	0,71	3,14
	Озимая рожь	2,39	1,07	3,46
	Ячмень	2,09	0,90	2,99
	За ротацию севооборота	6,91	2,68	9,59
Более 80 лет	Однолетние травы (овес на зеленую массу)	2,55	0,74	3,29
	Озимая рожь	2,03	0,89	2,92
	Ячмень	1,85	0,78	2,63
	За ротацию севооборота	6,43	2,41	8,84

а в подземной сфере в указанных экосистемах было сосредоточено 263,0; 242,7 и 255,0 г/м^2 живых подземных органов растений. Коэффициент продуктивности корневой системы овса менялся в рассматриваемых вариантах от 2,38 до 2,62, причем наименьшие величины получены для самой «старой» пашни (см. табл. 16). В итоге оказалось, что самая продуктивная экосистема — молодая, где запасы фитомассы в надземной и подземной сферах составили 928,7 г/м^2. Этот вариант опыта отличается наименьшей засоренностью по показателям массы, но количество сорных растений на единицу площади к моменту уборки урожая было наибольшим.

Учет массы стерни, оставшейся на поле (высота среза во всех вариантах была одинаковой), позволил количественно оценить роль растительных остатков в каждом варианте для пополнения запасов почвенного органического вещества. В самой «молодой» агроэкосистеме после уборки урожая на поле осталось наибольшее количество стерни — 78,4 г/м^2, а наименьшее —

в 30-летней (71,0 г/м^2). С учетом фитомассы подземных органов растений в посевах овса на зеленый корм в агроэкосистемах 5-, 30- и 80-летнего возраста возвратилось в почву соответственно 36,8; 35,7 и 37,7 % созданной за вегетационный период фитомассы (см. табл. 16).

С другими культурами зернотравяного севооборота возвращается в почву после уборки урожая примерно такое же количество пожнивно-корневых остатков. Отметим, что наибольшее количество корней (6,91 т/га) и стерни (2,68 т/га) поступает за ротацию севооборота в почву с 30-летним сроком сельскохозяйственного использования, а наименьшее (6,43 и 2,41 т/га) — соответственно в почву самой «старой» агроэкосистемы (табл. 17).

Приведенные данные позволяют констатировать факт уменьшения продуктивности агроэкосистемы по мере увеличения ее «возраста», соответственно снижается поступление в почву органического вещества с растительными остатками. Очевидно, что применяемая технология возделывания культур на данном полевом массиве не способствует сохранению и росту почвенного плодородия, что отражается на продуктивности возделываемых растений.

Поскольку растительные остатки при коэффициенте их гумификации 0,18 [90] могут дать в среднем ежегодно лишь 0,53—0,57 т/га новообразованных гумусовых веществ, в исследованных почвах складывается отрицательный баланс гумуса. Согласно имеющимся в литературе данным [90, 118, 138, 224], при выращивании зерновых культур в течение года минерализуется около 2,0 т/га (1,0—3,0 т/га) гумуса. Таким образом, растительные остатки культур зернотравяного севооборота восполняют ежегодно расход гумусовых веществ лишь на 26—28 %.

4.2. АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Все сравниваемые почвы благодаря известкованию характеризуются нейтральной реакцией в пахотном горизонте и некоторым подкислением среды в нижележащей почвенной толще (табл. 18). Аналогично изменяется по профилю и величина гидролитической кислотности. Однако максимум ее приурочен не к горизонту С, имеющему наименьшую величину pH, а к средней части профиля. Из полученных данных видно, что более высокой кислотностью обладает почва 80-летней пашни. Следствием этого является и наименьшая в этой почве степень насыщенности основаниями. Пахотный горизонт всех сравниваемых почв в профиле содержит меньше всего поглощенных оснований. Количество их в разных слоях колеблется, т. е. гомогенизации не наблюдается, минимум оснований приходится всегда на нижнюю часть пахотного слоя как результат остаточного оподзоливания почв. Среди сравниваемых почв в 30-летней пашне отмечено наибольшее содержание поглощенных основа-

ний в пахотном слое. Но это, очевидно, обусловлено несколько завышенными нормами извести, о чем можно судить по значительно большему количеству кальция в составе обменных оснований. Подвижный фосфор в наибольшем количестве концентрируется в верхней части пахотного горизонта (приблизительно до глубины 15 см). Только в почве 80-летней пашни много его обнаружено до глубины 25 см. В нижележащей почвенной толще содержание фосфора резко убывает. Однако в почве 30-летней и особенно 80-летней пашни оно вновь возрастает в нижней части профиля. В первом случае только на глубине 140—150 см, в другом — начиная с глубины 90 см. Можно предположить, что это следствие вымывания фосфора в нижние горизонты, и оно тем сильнее, чем продолжительнее сельскохозяйственное использование почвы. В то же время нельзя исключать влияния почвообразующей породы, содержащей фосфора больше, чем почвенная толща.

Калий распределяется по профилю более равномерно, наблюдается лишь незначительное превышение его содержания в пахотном слое относительно остальной почвенной толщи. Каких-то принципиальных различий между сравниваемыми почвами по содержанию подвижного калия не обнаружено. Между тем по профильному распределению можно констатировать более резкое убывание калия в подпахотном горизонте по сравнению с пахотным в почве 5-летней пашни. Возможно, что вынос калия еще не достиг значительной глубины, однако тенденция выноса намечается, поскольку в слое 0—5 см его количество меньше, чем на глубине 5—15 см. Затем оно вновь убывает в толще почвы 15—30 см, очевидно, как следствие лесной в прошлом стадии почвообразования.

Содержание азота в слое 0—15 см всех почв колеблется от 0,15 до 0,22 %, в слое 5—10 см — от 0,12 до 0,25 %, на глубине 10—15 см оно практически такое же и составляет 0,14—0,15 %. Более низкие показатели содержания азота зафиксированы для 80-летней пашни.

Несомненно, для оценки плодородия «разновозрастных» пахотных почв, где органические удобрения не применялись, приведенных агрономических данных недостаточно, необходимо изучение их гумусного состояния.

4.3. ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ «РАЗНОВОЗРАСТНОЙ» ПАШНИ

Содержание и профильное распределение гумуса

Одним из важных показателей гумусного состояния почв является абсолютное содержание в них гумуса. Полученные данные (см. табл. 18) показывают, что наибольшее его количество содержится в почве 5-летней пашни. Однако и здесь содержа-

Таблица 18

Агрохимическая характеристика серой лесной почвы разных сроков сельскохозяйственного освоения

Глубина взятия образца, см	Генетический горизонт	pH_{H_2O}	Гидролитическая кислотность, мг·экв/100 г почвы	Поглощенные основания, мг·экв/100 г почвы			Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	$N_{общ}$, %	C:N	Подвижные формы, мг/100 г почвы	
				Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$					P_2O_5	K_2O
5-летняя пашня												
0—5	А пах	7,7	0,7	10,1	7,9	18,0	96	2,94	0,19	9,0	29,2	11,0
5—10	А пах	7,8	0,7	9,2	5,7	14,9	96	2,27	0,24	5,5	25,0	13,9
10—15	А пах	7,7	1,0	8,0	7,7	15,7	94	1,85	0,14	7,7	23,1	13,6
15—20	А пах	7,2	1,7	6,6	6,1	12,7	88	1,00	0,13	4,5	5,0	9,5
20—25	А пах	7,3	1,7	7,4	6,1	13,5	89	1,00	0,12	4,8	4,3	9,8
25—30	А2В1	7,1	2,4	10,3	7,8	18,1	88	0,68	0,12	3,3	2,4	7,2
30—40	В1	6,7	4,2	14,8	9,6	24,4	85	0,86	0,08	5,1	2,4	11,1
40—50	В1	6,5	4,9	15,9	9,8	25,7	84	0,63	0,08	4,4	1,8	12,6
50—60	В2	6,3	4,2	12,6	8,9	21,5	84	0,51	Нет сведений		2,0	11,2
60—70	В2	6,4	4,9	13,0	12,3	25,3	84	0,50	»		1,7	12,3
70—80	В2	6,6	4,5	13,7	10,8	24,5	84	0,53	»		1,5	11,9
80—90	В2	6,7	3,5	10,6	9,0	19,6	85	0,73	»		1,8	9,8
90—100	В2	6,8	3,5	15,0	11,6	26,6	88	0,64	»		1,3	12,6
100—110	ВС	6,9	3,5	15,8	13,6	29,4	89	0,49	»		1,1	12,8
110—120	ВС	6,8	3,5	16,7	11,1	27,8	89	0,42	»		1,4	10,1
120—130	ВС	6,9	3,8	19,3	15,3	34,6	90	0,49	»		1,4	12,2
130—140	С	7,0	3,8	20,2	10,7	30,9	90	0,55	»		1,4	13,2
30-летняя пашня												
0—5	А пах	7,8	1,05	17,3	3,4	20,7	95	2,05	0,22	6,1	22,1	16,9
5—10	А пах	7,7	0,7	19,4	6,6	26,0	97	2,13	0,25	6,0	17,7	13,9
10—15	А пах	7,6	1,8	18,0	2,1	20,1	92	1,97	0,15	9,4	18,1	12,5
15—20	А пах	7,4	1,4	17,2	9,6	26,8	95	1,7	0,12	9,3	5,3	10,4

Окончание табл. 18

Глубина взятия образца, см	Генетический горизонт	pH_{H_2O}	Гидролитическая кислотность, мг·экв/100 г почвы	Поглощенные основания, мг·экв/100 г почвы			Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	$N_{общ}$, %	C:N	Подвижные формы, мг/100 г почвы	
				Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$					P_2O_5	K_2O
20—25	А пах	7,3	1,4	16,1	5,3	21,4	94	1,74	0,13	8,5	3,8	11,0
25—30	А2В1	6,7	3,5	14,9	8,5	23,4	87	0,61	0,08	5,0	2,1	12,3
30—40	В1	6,5	3,8	15,1	9,8	24,9	87	0,63	0,04	11,3	2,5	12,9
40—50	В1	6,6	4,5	14,3	9,9	24,2	84	0,90	0,05	9,0	2,8	11,0
50—60	В1	6,2	4,5	15,5	14,5	30,0	87	0,77	Нет сведений		2,4	11,1
60—70	В2	6,2	4,9	16,3	12,8	29,1	86	0,86	»		1,6	12,8
70—80	В2	6,4	4,5	17,5	16,9	34,4	88	0,60	»		1,9	12,0
80—90	В2	6,4	4,2	14,9	11,9	26,8	86	0,44	»		1,6	12,7
90—100	ВС	6,6	4,2	17,9	12,8	30,7	88	0,47	»		2,0	11,4
100—120	ВС	6,5	3,8	15,8	14,2	30,0	89	0,24	»		1,8	12,0
120—140	ВС	6,3	3,8	15,3	9,5	24,8	87	0,31	»		1,7	12,6
140—150	С	6,2	2,8	12,1	7,1	19,2	87	0,19	»		49,8	8,3
80-летняя пашня												
0—5	А пах	7,7	1,05	10,4	6,4	16,8	94	2,18	0,15	8,5	28,6	13,4
5—10	А пах	7,7	1,0	12,5	6,5	19,0	95	2,05	0,12	9,9	32,2	12,1
10—15	А пах	7,8	0,7	12,0	5,9	17,9	96	1,96	0,15	7,6	20,7	10,3
15—20	А пах	7,7	0,7	8,5	5,9	14,4	95	1,79	0,10	10,4	26,3	12,7
20—25	А пах	7,7	1,0	9,1	5,5	14,6	93	1,96	0,15	7,6	20,2	12,2
25—30	А2В1	7,0	2,8	12,6	8,8	21,4	88	0,99	0,13	4,5	4,4	12,8
30—40	А2В1	6,6	5,2	12,2	9,3	21,5	80	0,47	0,07	4,0	3,7	13,5
40—50	В1	6,3	5,2	12,4	10,4	22,8	81	0,42	0,07	4,0	3,6	13,4
50—60	В1	6,0	5,2	13,7	9,9	23,6	82	0,44	Нет сведений		2,8	12,4
60—70	В1	6,4	4,5	11,7	11,3	23,0	83	0,50	»		2,6	13,2
70—80	В2	6,3	4,5	15,9	8,8	24,7	84	0,56	»		4,4	11,0
80—90	В2	6,3	4,9	15,4	11,0	26,4	84	0,27	»		3,0	12,5
90—100	В2	6,3	3,1	11,3	7,9	19,2	86	0,27	»		25,4	9,5
100—110	ВС	6,4	2,8	10,9	6,4	17,3	86	0,27	»		23,2	9,6
110—130	ВС	6,6	3,1	8,3	5,9	14,2	82	0,10	»		52,7	9,2
130—140	С	6,5	3,1	7,3	6,9	14,2	82	—	»		42,5	6,6

Таблица 19

Варьирование содержания гумуса и отдельных форм органического углерода от длительности ее сельскохозяйственного использования ($n=12$), %

Показатель	Слой почвы, см	5-летняя пашня	
		$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	C_v
Гумус	0—10	2,78±0,093	11,1
	10—20	2,17±0,145	22,2
$C_{общ}$	0—10	1,92±0,044	7,5
	10—20	1,60±0,079	16,5
С предгумусовой фракции	0—10	0,31±0,024	25,8
	10—20	0,34±0,035	34,1
С водорастворимый	0—10	0,037±0,002	16,7
	10—20	0,035±0,002	21,0

ние гумуса низкое: в слое 0—10 см — 2,78%, 10—20 см — 2,17%. В иллювиальном горизонте его содержание резко уменьшается, т. е. профильное распределение гумуса в этой почве, так же как и в других взятых для сравнения, можно охарактеризовать как резко убывающее. Насыщенность гумуса азотом (см. табл. 18) даже в пределах пахотного горизонта колеблется значительно. Например, в почве 5-летней пашни отношение C : N изменяется от 4,5 до 9, 30-летней — от 6 до 9,3, а 80-летней — от 7,6 до 10,4. Исходя из полученных данных можно считать, что активность минерализационных процессов ослабевает по мере увеличения возраста пашни.

Для оценки степени варьирования содержания гумуса в разных слоях пахотного горизонта в зависимости от длительности сельскохозяйственного использования была проведена математическая обработка данных. Образцы в поле отбирали в 12-кратной повторности по слоям 0—10 и 10—12 см. Кроме содержания гумуса, во всех образцах определяли углерод общий, предгумусовой фракции и водорастворимый. Полученные данные (табл. 19) показывают, что перечисленные параметры отличаются наибольшей вариабельностью в почве 5-летней пашни, особенно в слое 10—20 см. В дальнейшем эта разница нивелируется, т. е. пахотный горизонт становится более гомогенным. Аналогично общему содержанию варьирует в разных слоях пахотного горизонта содержание общего углерода, его предгумусовой фракции и водорастворимых форм. Наибольшую вариабельность в почве 5-летней пашни обнаруживает углерод предгумусовой фракции, тогда как в более старой пашне — водорастворимый углерод. Характерно, что содержание этой формы углерода в 80-летней пашне вдвое меньше, чем в 5-летней, т. е. по истечении времени истощается запас свежих органических остатков целинной лесной почвы.

в слоях пахотного горизонта серой лесной почвы в зависимости

30-летняя пашня		80-летняя пашня	
$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	C_v	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	C_v
2,03±0,045	7,5	1,95±0,044	7,6
1,87±0,037	6,6	1,88±0,057	10,1
1,40±0,037	8,8	1,33±0,040	10,0
1,36±0,031	7,6	1,30±0,048	12,5
0,22±0,013	19,5	0,19±0,019	33,1
0,28±0,016	19,4	0,21±0,018	28,9
0,025±0,001	20,7	0,016±0,001	30,8
0,030±0,001	12,2	0,018±0,002	40,7

Как правило, при характеристике свойств пахотных почв, в частности, их гумусного состояния, ограничиваются изучением пахотного горизонта. Между тем почва в новых экологических условиях функционирует как единое целое, поэтому представляет интерес оценка профильных изменений рассмотренных показателей. Для профильного распределения содержания общего углерода в сравниваемых почвах характерно резкое уменьшение его количества в подпахотном горизонте. Полученные данные (табл. 20) показывают, что по мере увеличения длительности сельскохозяйственного использования разница в содержании углерода между пахотным и подпахотным горизонтами сглаживается. Если в почве 5-летней пашни в подпахотном горизонте углерода в 3 раза меньше, чем в нижней части пахотного (20—25 см), то в почве 80-летней пашни — лишь в 1,8 раза. Это дает основание предполагать, что в последнем случае образуется более плотная плужная поверхность, задерживающая часть гумусных веществ, мигрирующих из верхних горизонтов. Наше предположение подтверждает и тот факт, что в почве 5-летней пашни на глубине 80—100 см содержание углерода в несколько раз больше, чем в 80-летней пашне. Причиной различий может быть также неодинаковое количество растительных остатков, которых, несомненно, больше в почве 5-летней пашни, а следовательно, больше продуцируется гумусовых веществ, часть которых закрепляется в верхних горизонтах, другая — мигрирует в нижнюю часть профиля.

В основном это водорастворимые формы углерода, которые пропитывают почву на значительную глубину. Более того, доля участия этих форм в процентах от общего углерода в почве 5-летней пашни в слое от 25 до 60 см выше, чем в пахотном горизонте (см. табл. 20). Аналогичная закономерность в распределении водорастворимого углерода отмечается на 80-летней

Таблица 20

Содержание общего углерода, углерода предгумусовой фракции и водорастворимых его форм в профиле почв разной длительности сельскохозяйственного использования, %

Слой почвы, см	$C_{общ}$ в пашне			С предгумусовой фракции в пашне		
	5-летней	30-летней	80-летней	5-летней	30-летней	80-летней
0—5	1,96	1,35	1,53	0,25	0,16	0,26
5—10	1,59	1,51	1,31	0,27	0,27	0,12
10—15	1,45	1,42	1,44	0,37	0,27	0,30
15—20	1,12	1,12	1,23	0,45	0,13	0,19
20—25	1,31	1,10	1,16	0,73	0,09	0,02
25—30	0,43	0,40	0,64	0,03	0,04	0,06
30—40	0,50	0,45	0,30	0,09	0,08	0,02
40—50	0,37	0,45	0,26	0,02	0,02	0,01
50—60	0,30	0,49	0,26	0,00	0,04	0,00
60—70	0,29	0,51	0,30	0,00	0,01	0,01
70—80	0,34	0,35	0,33	0,00	0,00	0,00
80—90	0,43	0,26	0,16	0,00	0,00	0,00
90—100	0,38	0,28	0,16	0,00	0,00	0,00

Слой почвы, см	С водорастворимый, % от массы почвы/% от $C_{общ}$ в пашне		
	5-летней	30-летней	80-летней
0—5	0,05/2,56	0,03/2,23	0,02/1,31
5—10	0,05/3,15	0,03/1,99	0,01/0,77
10—15	0,04/2,76	0,03/2,12	0,02/1,38
15—20	0,06/5,36	0,03/2,68	0,02/0,57
20—25	0,04/3,06	0,02/1,82	0,01/0,87
25—30	0,04/9,31	0,02/5,00	0,01/1,57
30—40	0,04/8,00	0,02/4,45	0,03/10,01
40—50	0,03/8,11	0,01/2,23	0,03/11,54
50—60	0,02/6,67	0,01/2,04	0,03/11,54
60—70	0,01/3,45	0,02/3,93	0,02/6,67
70—80	0,02/5,89	0,02/5,72	0,01/3,03
80—90	0,00	0,01/3,85	0,00
90—100	0,00	0,01/3,58	0,00

пашне, причем в этом случае наблюдается увеличение не только относительного, но и абсолютного его содержания. Надо полагать, что причины накопления водорастворимых органических веществ в нижней части профиля рассматриваемых почв неодинаковы. В первом случае они определяются опосредованным влиянием большой биомассы глубоко проникающих корневых систем лесной растительности, а на «старых» пашнях — слабым закреплением гумуса в связи с изменением его природы. Максимум предгумусовой фракции (см. табл. 20) в профиле 5-летней пашни находится глубже, чем в двух других исследованных почвах. Полученные данные по содержанию и запасам общего углерода и углерода предгумусовой фракции в освоенной серой лесной почве сопоставимы с литературными. Т. А. Солодовой и Н. Ф. Ганжарой [227] в стационарном опыте ЦОС ВИУА, заложенном на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, установлено, что запасы общего углерода в слое 0—20 см в сильно окультуренной почве равнялись 147 т/га, в освоенной — 47—63 т/га, а запасы углерода предгумусовой фракции органического вещества изменялись от 7 до 15 т/га. Аналогичных сведений по серым лесным пахотным почвам в литературе обнаружить не удалось.

Запасы гумуса и азота

При оценке гумусного состояния почв широко используют запасы гумуса различных его фракций и азота. Для сравнительной оценки изменения запасов органического вещества наряду с почвами 5-, 30- и 80-летней пашни привлечены соответствующие данные по лесной целинной почве — аналогу пахотных. Из полученных результатов (табл. 21) видно, что запасы гумуса в метровой толще убывают по мере увеличения длительности сельскохозяйственного использования. Наиболее резко они падают в пахотных почвах даже в первые 5 лет, по сравнению с почвой лесной экосистемы. Это следствие резкого изменения экологических условий гумусообразования. Расчеты показали, что в первые 5 лет после освоения лесных почв ежегодно в метровой толще теряется до 7,5 т/га, за период от 5 до 30 лет — 0,45 т/га, а в последующем (от 30 до 80 лет) — всего 0,03 т/га ежегодно. Убыль гумуса происходит в основном в пределах пахотного горизонта. За первые 5 лет потеря гумуса в слое 0—20 см составляет 73 % от общей убыли в толще 0—100 см, тогда как в интервале от 5 до 30 лет — 41 %, а от 30 до 80 лет — только 8 %. В целом полученные данные согласуются с имеющимися в литературе, но одновременно полученные количественные параметры расширяют представление о масштабах процесса дегумификации в таком большом временном интервале.

Запасы углерода предгумусовой фракции определяли в слоях 0—20 и 0—50 см. Основная его масса концентрируется на

Таблица 21

Запасы органического вещества и азота в серых лесных почвах под влиянием их сельскохозяйственного освоения, т/га

Запасы вещества	Лесная экосистема			Пашня		
				5-летняя		
	0—20*	0—50	0—100	0—20	0—50	0—100
Гумус	101,30	142,94	194,37	63,77	Нет свед.	142,88
Общ	71,20	97,11	131,19	39,25	69,95	93,25
С предгумусовой фракции	9,41	11,10	Нет свед.	9,45	16,70	Нет свед.
Азот	5,35	10,81	»	4,48	8,83	»

Запасы вещества	Пашня					
	30-летняя			80-летняя		
	0—20	0—50	0—100	0—20	0—50	0—100
Гумус	52,49	Нет свед.	140,17	50,85	Нет свед.	121,72
Общ	36,10	61,30	92,00	34,62	57,23	76,73
С предгумусовой фракции	5,60	8,25	Нет свед.	5,85	7,10	Нет свед.
Азот	4,30	7,85	»	3,43	7,80	»

* Слой почвы, см.

глубине 0—20 см, особенно в почве лесной экосистемы. Эта толща по запасам углерода предгумусовой фракции в лесной и 5-летней пахотной почве одинакова, тогда как в слое 0—50 см в последнем случае этой фракции значительно больше. По-видимому, это связано с разложением корневых систем лесной растительности, оставшихся после ее раскорчевки. В дальнейшем, по мере уменьшения источника гумусовых веществ, содержание предгумусовой фракции уменьшается.

Запасы азота закономерно уменьшаются в слоях 0—20 и 0—50 см от лесной почвы к пахотным. Минимум их приходится на почву 80-летней пашни. Убыль запасов азота выражена менее резко, чем гумуса. Например, в первые 5 лет запасы азота уменьшились по сравнению с лесной почвой в слое 0—20 см на 16 %, тогда как запасы гумуса — на 37 %. В 80-летней пашне в этом же слое по отношению к лесной почве запасы азота падают на 36 %, а запасы гумуса — на 50 %.

Отмеченные различия запасов азота в почвах естественных и агроэкосистем обусловлены интенсификацией процессов нитрификации в пахотных почвах. В результате окисления аммонийного азота в нитратный осуществляется перевод сравнительно малоподвижной адсорбированной почвой формы азота в водо-

растворимую, способную к миграции и в большей мере подверженную различным потерям [28].

Таким образом, данные о запасах гумусовых веществ и азота в почвах агроэкосистем разных сроков сельскохозяйственного освоения и их целинных аналогов свидетельствуют об исключительно интенсивной дегумификации пахотных серых лесных почв в условиях постоянного недостатка свежего органического вещества. Выдвигаемый в литературе тезис [271] о возможной стабилизации или некотором увеличении содержания и запасов гумуса почв под влиянием одних минеральных удобрений и извести не подтверждается проведенными нами исследованиями.

Фракционно-групповой состав гумуса серых лесных почв разной длительности сельскохозяйственного использования

Процесс изменения количества гумуса в почвах в ходе их сельскохозяйственного освоения изучен значительно лучше, чем изменения его качества. Литературные данные свидетельствуют, что изменения в составе гумуса серых лесных почв при окультуривании носят неоднозначный характер. В обзорной статье Е. В. Фридланд [271] отмечает, что в ходе окультуривания в составе гумуса увеличивается доля ГК, возрастает количество гуматов кальция, увеличивается их оптическая плотность, т. е. гумус серых лесных почв приобретает более зрелый, гуматный характер. Данный факт позволяет говорить о переходе от лесного типа гумусообразования к степному [271]. По материалам других авторов [281], диапазон изменений в химической природе гумусовых соединений невелик, носит неустойчивый характер и не выходит за пределы зональных особенностей. ГК пахотных почв лесной зоны (дерново-подзолистых, серых лесных), отличаясь от своих целинных аналогов, не достигают уровня химической зрелости чернозема [204, 238, 281].

Интересные данные в последнее время [29, 49] получены о влиянии известкования на распределение фракций в составе гумуса дерново-подзолистых почв. Оказалось, что известкование влияет на состав фракций — происходит их перегруппировка, а именно: увеличение содержания гуминовых кислот фракции 2, связанной с кальцием, и уменьшение во фракции 1, связанной с полуторными оксидами.

Исследования, проведенные на темно-серых почвах [271, 289], показали, что при внесении только минеральных удобрений увеличивается количество углерода ГК фракции 1, уменьшается содержание ГК фракций 2 и 3, резко сокращается содержание негидролизуемого остатка и понижается оптическая плотность гуминовых кислот. При несистематическом применении органических удобрений происходит заметное уменьшение общего содержания гумуса, увеличение всех фракций гуминовых кислот,

Таблица 22

Влияние длительности сельскохозяйственного использования почв на фракционно-групповой состав гумуса, % к $C_{общ}$

Глубина, см	$C_{общ}$, %	Фракция ГК				Фракция ФК					Сумма фракций	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$
		1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма			
Лесная целинная													
0—1	32,5	6,8	1,8	7,4	16,0	3,1	15,3	1,7	2,3	22,4	38,4	61,6	0,71
1—5	5,09	14,2	4,6	11,7	30,5	4,7	19,6	6,4	8,1	38,8	69,3	30,7	0,79
5—10	3,53	23,8	7,7	6,8	38,3	5,0	18,8	6,9	4,5	35,2	73,5	22,5	1,09
10—15	3,36	24,0	7,2	7,0	38,2	6,0	15,4	6,7	4,6	32,7	70,9	29,1	1,17
15—19	1,55	23,8	5,5	8,4	37,7	6,9	11,2	6,6	4,8	29,5	67,2	32,8	1,28
19—24	0,49	6,7	8,4	6,7	21,8	19,6	10,2	20,2	1,1	51,1	72,9	27,1	0,43
24—30	0,57	3,1	5,7	4,5	13,3	4,7	20,0	6,8	4,5	36,0	49,3	50,7	0,37
40—50	0,42	5,0	3,0	4,2	12,2	9,5	9,7	23,9	4,2	47,3	59,5	40,5	0,26
70—80	0,45	1,6	7,9	2,9	12,4	8,9	6,6	12,5	3,7	31,7	44,1	55,9	0,39
101—120	0,36	0,6	5,2	4,7	10,5	14,7	1,0	15,7	3,5	35,0	45,5	54,5	0,30
5-летняя пашня													
0—5	1,70	4,4	20,6	10,0	35,0	4,0	12,4	5,7	5,4	27,5	62,5	37,5	1,27
5—10	1,31	6,3	22,6	9,7	38,7	4,8	14,0	10,1	1,0	29,9	68,5	31,5	1,29
10—15	1,07	8,2	23,0	13,6	44,8	6,7	12,1	11,6	8,4	38,8	83,6	16,4	1,15
15—20	0,58	5,6	17,9	6,1	29,6	3,3	18,2	12,0	7,8	41,3	70,9	29,1	0,72
20—25	1,06	4,1	15,1	10,2	29,4	5,7	12,7	16,7	1,9	37,0	66,4	23,6	0,79
25—30	0,39	2,9	8,4	7,3	18,6	11,5	5,6	25,1	3,6	45,8	64,4	35,6	0,41

Глубина, см	$C_{общ}$, %	Фракция ГК				Фракция ФК					Сумма фракций	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$
		1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма			
30—40	0,50	2,2	6,1	1,5	9,8	12,6	2,3	15,3	6,2	36,4	46,2	53,8	0,27
40—50	0,36	1,6	16,9	6,1	24,6	14,6	5,9	23,1	6,5	50,1	74,7	25,3	0,49
60—70	0,29	2,0	6,9	3,9	12,8	13,2	1,4	13,9	7,9	36,4	49,2	50,8	0,35
80—90	0,42	1,8	8,3	4,0	14,1	6,7	1,5	16,1	3,6	27,9	42,0	58,0	0,50
130	0,31	1,9	2,4	4,9	9,2	7,0	2,4	10,9	5,3	26,5	34,8	65,2	0,36
30-летняя пашня													
0—5	1,17	5,9	20,1	8,8	34,8	4,8	7,2	19,7	4,7	36,4	71,2	28,8	0,96
5—10	1,23	4,5	20,3	12,0	36,8	4,5	6,7	22,8	2,5	36,4	73,2	26,8	1,01
10—15	1,13	4,8	17,5	9,0	31,3	2,9	8,9	19,3	4,3	35,4	66,7	33,3	0,88
15—20	0,99	3,9	18,8	9,0	31,7	4,3	8,8	18,5	3,6	35,2	66,9	33,1	0,90
20—25	1,02	4,3	15,9	10,8	31,0	4,4	7,9	17,3	0,8	30,4	61,4	38,6	1,02
25—30	0,36	4,2	19,8	7,2	31,2	19,1	4,4	21,6	7,7	52,8	84,0	16,0	0,59
40—50	0,48	2,8	11,5	9,4	23,7	13,2	3,5	24,0	5,3	46,0	69,7	30,0	0,51
70—80	0,33	5,2	3,7	4,4	13,3	14,0	4,4	12,2	7,5	38,1	51,4	48,6	0,35
120—140	0,17	6,7	8,2	9,7	24,6	18,1	8,7	17,5	11,2	55,5	80,1	19,9	0,44
80-летняя пашня													
0—5	1,20	3,0	23,1	10,9	37,0	5,9	10,8	13,5	2,3	32,5	69,5	30,5	1,14
5—10	1,22	4,7	18,2	10,0	32,9	4,3	10,8	23,6	4,6	43,3	76,2	23,8	0,76
10—15	1,12	3,4	18,3	11,0	32,7	7,1	12,7	11,9	5,9	37,6	70,3	29,7	0,87
15—20	1,04	5,0	18,7	13,0	36,7	6,8	9,2	15,8	6,7	38,5	75,2	24,8	0,95
20—25	1,11	5,4	10,9	10,1	26,4	5,5	8,7	17,1	2,6	33,9	60,3	39,7	0,78
25—30	0,57	2,8	7,1	3,6	13,5	18,9	0,7	20,0	6,4	46,0	59,5	40,5	0,29
40—60	0,34	2,2	6,1	1,7	10,0	13,0	2,5	15,3	6,2	37,0	44,0	53,0	0,27
80—100	0,24	2,2	7,7	3,6	13,5	18,9	0,7	20,0	6,4	46,0	59,5	40,5	0,29

повышение отношения $C_{ГК} : C_{ФК}$, сокращение содержания негидролизуемого остатка. При длительном применении удобрений содержание гумуса повышалось, тогда как тенденции изменения качественного состава гумуса остались теми же.

В наших исследованиях сделана попытка оценить изменения, которые происходят во фракционно-групповом составе гумуса серых лесных почв при их многолетнем сельскохозяйственном использовании. Качественный состав гумуса пахотных почв разных сроков освоения сравнивали с их целинным аналогом (табл. 22). Результаты анализа фракционно-группового состава гумуса пахотных почв показали, что основные изменения в его составе касаются в основном пахотного горизонта (см. табл. 22). Выявлено, что за 5-летний период сельскохозяйственного использования фракционно-групповой состав гумуса претерпел следующие изменения: в пределах гумусово-аккумулятивной толщи резко уменьшилось содержание ГК фракции 1 и в то же время возросла доля гуматов кальция (фракция 2). Увеличение фракции 2ГК, сопровождаемое уменьшением содержания фракции 1, можно объяснить не столько новообразованием дополнительного количества гуминовых кислот, связанных с кальцием, сколько возможной перегруппировкой в составе самих фракций гуминовых кислот [29]. Наряду с этим происходит уменьшение содержания негидролизуемого остатка. Однако тип гумусовых веществ даже в обрабатываемой части почвенного профиля остался таким же, как и в почве под лесом, т. е. фульватно-гуматным с отношением $C_{ГК} : C_{ФК} = 1{,}15—1{,}27$. В иллювиальных горизонтах гумус остается фульватным ($C_{ГК} : C_{ФК} = 0{,}27—0{,}49$). В этой части почвенного профиля в составе ФК велик удельный вес «агрессивной» фракции и фракции 2ФК, связанной с кальцием. В нижней части иллювиального горизонта и в горизонте ВС почти в 2 раза по сравнению с вышестоящими слоями увеличивается содержание негидролизуемого остатка.

По мере увеличения срока сельскохозяйственного использования почвы (30 лет) без применения органических удобрений в составе гумусовых веществ преобладающими формами ГК становятся их кальциевые соли, содержание свободных ГК изменяется до очень низкого, а содержание ГК фракции 3 — высокое. Тип гумуса стал гуматно-фульватным ($C_{ГК} : C_{ФК} = 0{,}88—1{,}01$). В литературе отмечается [271], что при внесении в почву высоких доз минеральных удобрений без органических может наблюдаться в результате подкисления почвы усиление фульватности гумуса.

Указанные изменения в составе гумуса характерны и для почвы с 80-летним сроком сельскохозяйственного использования. Во всех изученных разрезах выражена в той или иной мере миграция из верхней части почвенного профиля в среднюю и нижнюю ГК фракции 2, неполно усредненных кальцием.

Подобные явления В. В. Пономарева и Т. А. Плотникова [209] считают непременным диагностическим признаком серых лесных почв.

В заключение рассмотрим основные показатели, предложенные Л. А. Гришиной и Д. С. Орловым [56, 57] для оценки гумусного состояния сравниваемых почв. Данные, обобщенные в табл. 23, показывают, что наиболее ощутимые изменения при разной длительности использования почв выражаются в усилении фульватности гумуса, уменьшении его общего содержания, свободных ГК, в незначительном снижении агрессивности ФК и увеличении содержания ГК, связанных с кальцием, обогащенности гумуса азотом. Все остальные показатели, хотя и обнаруживают количественные различия, находятся в пределах одной категории. Так, степень гумификации во всех случаях высокая, а запасы гумуса и содержание негидролизуемого остатка — низкие.

В целом в почвах агроэкосистем по сравнению с лесными происходят существенные преобразования органической части, и без применения органических удобрений гумусное состояние почв, а следовательно, их плодородие ухудшаются.

4.4. ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ НА ИХ МИНЕРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ

Факт незначительного изменения гранулометрического состава почв в направлении обогащения пахотного слоя фракцией физической глины отмечал еще в своих исследованиях И. Ф. Гаркуша [42]. На основе изучения серых лесных почв Башкирии Ф. Ш. Гарифуллиным и Х. И. Ганиевым [41] было показано, что сельскохозяйственное освоение и дальнейшее использование этих почв приводит к значительному уменьшению в пахотном слое фракции песка и увеличению фракции пыли. При этом авторами установлено, что содержание фракции ила в темно-серых лесных почвах увеличивается, в светло-серых — уменьшается, а в серых остается почти без изменений. Этому факту в работе не дано объяснения, однако он позволяет считать, что окультуривание почв неадекватно отражается на их гранулометрическом составе и в каждом конкретном случае надлежит проводить соответствующую оценку.

Исследованиями А. К. Суворова и Б. П. Градусова [232] при сравнении коллоидов целинной и пахотной дерново-подзолистых почв было показано, что чем больше гумуса содержат коллоиды, тем прочнее они закрепляются в почве. Склеиванию минеральных коллоидов способствуют и несиликатные формы железа и алюминия. Как было показано Л. Н. Александровой, М. Надь [11] и рядом других исследователей, взаимодействие гумусовых веществ с минеральной частью почвы зависит от

Таблица 23

Показатели гумусного состояния серых лесных почв

Показатель	Лесная экосистема	Агроэкосистема (пашня)		
		5-летняя	30-летняя	80-летняя
Мощность подстилки, см	Маломощная, 1	—	—	—
Масса подстилки, т/га	Средняя, 14,5	—	—	—
Выраженность подгоризонтов подстилки	Не выражено	—	—	—
Соотношение запасов органического вещества подстилки и минерального профиля почвы	Эндоморфное, 1	—	—	—
Содержание гумуса в верхнем горизонте, %	Высокое, 60—90	Низкое, 2,5	Низкое, 2,0	Очень низкое, 1,9
Запасы гумуса в слоях 0—20, 0—100 см, т/га	Низкие, 101; 194	Низкие, 63; 143	Низкие, 52; 140	Низкие, 50; 121
Профильное распределение гумуса	Резкоубывающее	Резкоубывающее	Резкоубывающее	Резкоубывающее
Обогащенность гумуса азотом, %	Низкая, 13	Средняя, 8	Средняя, 8	Средняя, 10
Степень гумификации органического вещества, $C_{ГК}/C_{общ} \cdot 100$ %	Высокая, 30—38	Высокая, 30—44	Высокая, 31—36	Высокая, 32—37
Тип гумуса, $C_{ГК}:C_{ФК}$	Фульватно-гуматный, 1,09—1,28	Фульватно-гуматный, 1,15—1,29	Гуматно-фульватный, 0,88—1,01	Гуматно-фульватный, 0,80—1,14
Содержание свободных ГК, % к их сумме	Высокое, 62—63	Очень низкое, 13—18	Очень низкое, 12—17	Очень низкое, 8—13
Содержание ГК, связанных с Са, % к их сумме	Очень низкое, 14—20	Среднее, 60—51	Среднее, 55	Среднее, 55—62
Содержание прочносвязанных ГК, % к их сумме	Среднее — высокое, 18—38	Высокое, 21—30	Высокое, 25—33	Высокое, 30—35
Содержание негидролизуемого остатка, % к $C_{общ}$	Низкое, 22—30	Низкое, 29—37	Низкое, 26—33	Низкое, 24—30
Агрессивность ФК, $C_{ФК\,1a}/C_{ФК} \cdot 100$ %	От средней до высокой, 12—23	От низкой до средней, 8—17	От низкой до средней, 8—13	От низкой до средней, 9—18

природы минералов, их дисперсности, состава поглощенных катионов.

Ф. Дюшофур [77] подчеркивал стабилизирующее влияние активного известняка и аморфных силикатов на все гумусовые компоненты. По его мнению, эти минеральные вещества сохраняют гумусовые вещества, но не способствуют полимеризации их компонентов, тогда как глины оказывают слабое защитное действие.

Среди опытных работ, направленных на изучение особенностей взаимодействия гумусовых кислот с минеральной частью почвы, большой интерес представляют модельные опыты Г. А. Гришиной и Л. В. Сребновой [53]. Этими исследованиями убедительно показано, что суглинок в отличие от песка поглощает фульвокислот в 3 раза больше, что авторы объясняют высоким содержанием (более 16%) полуторных оксидов в валовом составе суглинков. Опыты с растворами, имеющими pH=4,3 и 7,0, показали, что в кислой среде поглощение фульвокислот идет интенсивнее. В щелочной среде фульвокислоты, как и гуминовые, более мобильны. Таким образом, формирование гумусового профиля зависит от гранулометрического и химического состава почв, что еще раз убеждает в необходимости их сопряженного изучения.

Интересные исследования были предприняты в последние годы [241] по изучению содержания и состава органического вещества почв в тонкодисперсных частицах в условиях их сельскохозяйственного использования и окультуривания. Была выявлена тенденция количественного перераспределения частиц по мере повышения степени окультуренности. В частности, в хорошо окультуренном варианте, в отличие от слабо окультуренного, увеличивается выход частиц средней пыли и уменьшается количество коллоидных (меньше 0,2 мкм) и предколлоидных (0,2—1 мкм) частиц, что говорит об усилении агрегированности наиболее тонкодисперсных частиц в процессе окультуривания почв. Как показал расчет, проведенный названными исследователями, во всех изученных вариантах 60—70 % общего углерода приходится на частицы коллоидного, предколлоидного и тонкопылеватого размеров (1—5 мкм), 15—28 % сосредоточено в средней и мелкой пыли. По мере роста степени окультуренности почвы в органическом веществе уменьшается доля коллоидов и предколлоидов (с 44,5 до 37—41 %) и существенно возрастает доля частиц средней и крупной пыли (с 15 до 28 %).

Исследования группового состава гумуса частиц показали, что коллоиды наиболее обогащены фульвокислотами. Особенно высокие отношения $C_{ГК}:C_{ФК}$ отмечаются для частиц тонкой пыли. При одном и том же размере частиц в слабо окультуренных почвах по сравнению с хорошо окультуренными $C_{ГК}:C_{ФК}$ имеет тенденцию к уменьшению.

Изменение валового химического состава в процессе сель-

скохозяйственного использования почв в литературе освещено слабо как из-за трудоемкости методов его изучения, так и вследствие сложившегося представления о стабильности валового содержания макроэлементов. При этом исходили из того, что почвообразование — длительный процесс, поэтому вряд ли можно ожидать преобразования минеральной части почв в результате окультуривания. Очевидно, что такое представление нуждается в дальнейшем уточнении, так как распахивание и дальнейший комплекс мероприятий по окультуриванию почв представляют собой чрезвычайно интенсивный биоэнергетический процесс, который должен сопровождаться изменением даже консервативных свойств почв в сравнительно небольшом интервале времени.

Нами была сделана попытка оценить направление таких изменений за 80-летний срок использования почв под пашню в случае, когда органические удобрения не вносились.

Важным геохимическим индикатором степени окультуренности почв считают [85] величины соотношения форм и соединений железа. Этот вопрос изучен чрезвычайно слабо. Тем не менее имеются данные [96, 257], показывающие, что по мере окультуривания происходит постепенное нарастание свободного железа в деятельных слоях почвы. Культурная дерново-подзолистая почва резко отличается от слабо и средне окультуренной более высокой насыщенностью верхней 30—50-сантиметровой толщи слабо окристаллизованным и пирофосфатрастворимым при одновременной обедненности ее сильно окристаллизованным и неорганическим железом. При длительном внесении повышенных доз органических и кислых минеральных удобрений мигрируют по профилю сильно окристаллизованные и аморфные неорганические соединения железа.

Полученные нами данные по соотношению форм и соединений железа в почвах без внесения органических удобрений расширяют представления о роли железа в почвах агроэкосистем.

Гранулометрический состав почв

Важным экологическим фактором, определяющим особенности гумусообразования и плодородие почв в целом, является их гранулометрический состав. От него зависит интенсивность процессов превращения, перемещения и накопления как органических, так и минеральных соединений в почве.

Согласно классификации почв по гранулометрическому составу, предложенной Н. А. Качинским, серые лесные почвы совхоза «Бородулинский» относятся к пылевато-иловатым тяжелым суглинкам (см. табл. 4). Как видно из приведенных данных, профиль рассматриваемой почвы дифференцирован сравнительно слабо. Однако по содержанию ила профиль почвы расчленяется на элювиальную часть, где количество ила со-

ставляет 22,3—23,7%, и иллювиальную с содержанием ила 29,3—30,2 %. Максимальное количество ила определено в почвообразующей породе — 43,9 %, и она представлена здесь глиной средней, тогда как в пределах остальной части профиля — тяжелым суглинком. В целом изученные почвы отличаются большим содержанием ила (частиц менее 0,001 мм), что должно обеспечивать их высокую емкость поглощения.

Илистая фракция доминирует в пределах всего почвенного профиля. Количество фракции мелкой пыли (0,005—0,001 мм) в отличие от ила закономерно уменьшается вниз по почвенному профилю, и только в горизонте ВС возрастает по сравнению с горизонтом В. Фракция крупной пыли (0,05—0,01 мм) широко представлена в верхней части профиля, здесь она доминирует после ила, тогда как в нижних горизонтах следующей по преобладанию после ила является фракция 1—0,25 мм. Закономерных изменений по профилю содержания мелкого песка (0,25—0,05 мм) не обнаружено. Содержание физической глины (частиц менее 0,01 мм) колеблется по профилю незначительно. В морфологически оподзоленной части почвенного профиля не наблюдается сколько-нибудь значительного уменьшения содержания этой фракции. Таким образом, в процессе почвообразования в таких экологических условиях перемещению подвержены только илистые частицы, т. е. процесс подзолообразования не играет здесь существенной роли.

Формирование осветленных горизонтов является следствием не оподзоливания как такового, а отмывания железистых пленок с почвенных агрегатов и последующего выноса железа, что констатируется данными валового химического состава.

Сравнительное изучение гранулометрического состава проводили как в зависимости от продолжительности использования почв под пашню, так и в варианте с разной обработкой почвы. В первом случае анализировали серую лесную почву (аналог пахотных) — разрез 12, почву 5-летней пашни — разрез 13, почву 30-летней пашни — разрез 14 и 80-летней — разрез 15. Определение гранулометрического состава проводили на приборе «Анализета-22» (Германия). Образцы предварительно растирали и пропускали через сито в 1 мм. В одной суспензии определяли частицы размером от 0,1 до 0,0001 мм. Диспергирование почв щелочью, как предусмотрено принятой в почвоведении методикой Качинского, не проводили, поэтому рассматриваемые данные нужно считать не абсолютными, а относительными, использованными для сравнительных целей. Содержание фракций определяли на всю глубину почвенного профиля, что позволяет выявить закономерности их распределения по всему профилю, а не только в пределах пахотного горизонта, как обычно принято при подобных исследованиях. Размерность определения фракций на приборе была следующей: >1, 1—2, 2—5, 5—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50, 50—70, 70—100 мкм, т. е. учи-

Таблица 24

Гранулометрический состав почв разных сроков освоения под пашню, %

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Размер частиц, мм					
		0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001
					(степень выноса—накопления, %)		
12	1—5	4	70	26	—80	—5	+300
	5—19	0	54	46	—100	—27	+667
	19—24	10	64	26	—50	—14	+333
	24—40	34	62	4	+70	—16	—33
	40—60	40	57	3	+100	—13	—50
	70—80	28	68	4	+40	—8	—33
	100—120	20	74	6	0	0	0
13	0—5	44	50	6	+91	—27	—33
	5—10	38	55	7	+65	—19	—22
	20—25	34	58	8	+47	—15	—11
	25—30	38	55	7	+65	—19	—12
	30—40	24	67	9	+4	—2	0
	70—80	24	62	14	+4	—9	+55
	110—120	6	78	16	—74	+15	+78
	130—140	23	68	9	0	0	0
14	0—5	28	60	12	+22	—12	+33
	10—15	25	62	13	+9	—9	+44
	20—25	28	61	11	+22	—10	+22
	25—30	30	62	8	+30	—9	—11
	30—40	30	61	9	+30	—10	0
	70—80	30	59	11	+30	—13	+22
	100—120	23	68	9	0	0	0
15	0—5	15	63	22	—17	—13	+120
	15—20	18	60	22	0	—17	+120
	20—25	21	60	19	+17	—17	+90
	25—30	17	68	15	—6	—6	+50
	40—50	24	65	11	+33	—10	+10
	80—90	12	77	11	—13	+7	+10
	110—130	12	76	12	—13	+5	+20
	130—140	18	72	10	0	0	0

тывались частицы более 0,1 мм и менее 0,001 мм. Условно перечисленные фракции объединены в три группы, мм: 0,1—0,05 (песок мелкий); 0,05—0,01 (крупная пыль) и 0,01—0,001 (средняя и мелкая пыль). Полученные данные (табл. 24) показывают, что доминируют в изученных почвах крупнопылеватые частицы, на долю которых приходится от 50 до 78 % суммы

перечисленных фракций. Во всех сравниваемых разрезах почв количество крупной пыли, как правило, возрастает с глубиной. Наиболее контрастно изменяется содержание крупной пыли по профилю лесной почвы (разрез 12) и вновь освоенной (5-летняя пашня, разрез 13). Кроме того, в первом разрезе эта фракция представлена более широко, чем во втором, очевидно, как следствие резкого усиления элювиальных процессов при сельскохозяйственном использовании почв. В дальнейшем процесс стабилизируется (30-летняя и 80-летняя пашня) и наблюдается равномерное распределение этой фракции в верхней части почвенного профиля.

Песчаная фракция (0,1—0,05) в верхней части профиля лесной почвы представлена незначительно, ее количество резко возрастает в 5-летней пашне (разрез 13) как результат вымывания крупнопылеватых частиц. Важно отметить, что в этом разрезе почвы наблюдается резкое (в 5 раз и более) преобладание песчаной фракции над самыми мелкими (0,01—0,001 мм), а по мере увеличения длительности сельскохозяйственного использования эта разница уменьшается (на пашне 30-летней, разрез 14), однако спустя 80 лет (разрез 15) вновь возрастает доля мелких частиц, и по этому показателю почва последнего разреза приближается к лесной (разрез 12) при меньшем количестве фракции 0,01—0,001 мм.

Поскольку гумусонакопление в почвах теснее всего связано с содержанием наиболее мелких частиц, то представляет особый интерес сопоставление распределения по профилю сравниваемых почв частиц менее 0,01 мм. В лесной почве наблюдается накопление этой фракции в верхних горизонтах (до глубины 30 см) и резкое уменьшение в нижележащей толще, т. е. для рассматриваемой почвы характерен аккумулятивный тип ее распределения. В почве 5-летней пашни максимум физической глины (частиц менее 0,01 мм) смещен в нижнюю часть почвенного профиля, т. е. здесь отчетливо выражен элювиальный тип их распределения. На 30-летней пашне элювиальный процесс ослабевает, и более того, наблюдается тенденция аккумуляции этой фракции в верхних горизонтах, что еще отчетливее проявляется в почве 80-летней пашни.

Из полученных данных следует, что самая неблагоприятная обстановка для гумусообразования и гумусонакопления в пахотных почвах складывается в период первых лет их освоения под пашню, когда происходит резкое уменьшение содержания мелких частиц, способствующих закреплению гумуса. Очевидно, это одна из причин резкой (в 2—3 раза) убыли содержания гумуса в этой почве по сравнению с лесной.

В заключение рассмотрим данные расчетов степени выноса — накопления различных групп фракций в сравниваемых почвах (см. табл. 24). За 100 % принимается содержание той или иной фракции в почвообразующей породе. Для сравни-

Таблица 25

Валовой химический состав пахотных почв разных сроков освоения, % на прокаленную навеску

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO
12	A1	1—5	72,24	12,13	4,65	0,73	0,21
	A1A2	15—19	74,44	12,46	4,45	0,75	0,21
	A2B	19—24	68,68	15,39	5,88	0,80	0,11
	B1	24—40	64,59	18,45	7,46	0,74	0,08
	B1	40—60	64,73	18,74	7,73	0,81	0,08
	B2	70—80	66,07	18,03	7,35	0,74	0,09
	BC	100—120	63,22	19,30	8,70	0,84	0,14
	C	140—160	65,06	18,31	8,25	0,85	0,10
13	A пах	0—5	76,35	11,16	4,19	0,76	0,15
	A пах	5—10	76,50	10,89	4,07	0,70	0,13
	A пах	20—25	76,39	11,29	3,62	0,73	0,12
	A2B1	25—30	69,98	14,59	5,96	0,78	0,08
	B1	30—40	67,52	15,68	7,32	0,79	0,09
	B2	70—80	66,21	15,46	9,50	0,85	0,14
	BC	110—120	63,95	18,42	8,83	0,90	0,08
14	A пах	0—5	68,13	14,11	6,55	0,75	0,13
	A пах	10—15	68,99	13,75	6,25	0,75	0,14
	A пах	20—25	70,08	13,89	6,19	0,79	0,14
	A2B1	25—30	64,99	15,42	7,97	0,78	0,10
	B1	30—40	67,86	15,11	7,36	0,78	0,09
	B2	70—80	68,22	16,06	8,03	0,88	0,08
	BC	100—120	67,30	14,93	7,39	0,85	0,07
	C	140—150	60,10	17,37	8,10	0,75	0,08
15	A пах	0—5	73,35	11,88	4,69	0,80	0,17
	A пах	15—20	73,27	11,96	4,94	0,80	0,17
	A пах	20—25	73,29	11,99	4,92	0,81	0,15
	A2B1	25—30	72,82	12,72	4,29	0,72	0,13
	B1	50—60	63,57	18,38	7,93	0,83	0,09
	B2	80—90	60,11	18,78	10,15	0,84	0,08
	BC	100—110	61,39	18,64	7,87	0,70	0,07
	C	130—140	61,27	18,79	7,76	0,69	0,08

CaO	MgO	SO_3	P_2O_5	K_2O	Na_2O	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
2,69	1,33	0,52	0,24	2,26	2,00	10,1	41,5	8,1
2,22	1,23	0,24	0,17	2,13	1,76	10,2	44,6	8,3
2,14	1,69	0,15	0,10	2,41	1,67	7,6	31,2	6,1
2,02	1,82	0,17	0,07	2,54	1,05	6,0	23,1	4,7
1,89	1,81	0,15	0,08	2,45	1,19	5,9	22,3	4,7
1,93	1,64	0,13	0,08	2,46	1,29	6,2	24,0	4,9
1,78	1,76	0,15	0,07	2,48	0,90	5,6	19,4	4,3
2,11	1,77	0,18	0,08	2,26	0,95	6,0	21,1	4,7
2,36	1,45	0,22	0,23	1,99	1,03	11,6	48,8	9,4
2,24	1,51	0,17	0,18	2,00	1,26	11,9	50,2	9,7
2,08	1,50	0,16	0,16	2,08	1,58	11,5	56,3	9,6
2,13	2,01	0,13	0,12	2,30	1,71	8,2	31,4	6,5
1,98	2,16	0,17	0,10	2,25	1,27	7,3	24,6	5,6
2,24	1,72	0,11	0,07	2,73	0,19	7,3	18,6	5,2
1,88	1,74	0,17	0,07	2,39	0,94	5,9	19,3	4,5
2,71	2,34	0,24	0,27	2,24	2,33	8,2	27,8	6,3
2,26	2,14	0,22	0,20	2,15	2,61	8,5	29,5	6,6
2,25	2,04	0,20	0,17	2,14	1,93	8,6	30,3	6,7
2,01	2,44	0,20	0,10	2,33	2,85	7,2	21,7	5,4
2,02	2,14	0,16	0,11	2,35	1,82	7,6	24,6	5,8
1,87	2,07	0,12	0,08	2,40	0,21	7,2	22,7	5,5
1,84	1,73	0,11	0,08	2,38	2,78	7,7	24,3	5,8
1,98	1,93	0,09	0,38	4,27	4,94	5,9	19,8	4,5
2,27	1,72	0,20	0,29	2,92	1,62	10,5	41,7	8,4
2,17	1,67	0,19	0,29	2,88	1,15	10,4	39,5	8,3
2,04	1,65	0,18	0,26	2,90	1,92	10,4	39,8	8,2
2,11	1,71	0,23	0,28	2,19	2,28	9,7	45,3	8,0
1,82	2,03	0,13	0,10	3,29	1,29	5,9	21,4	4,6
1,57	2,30	0,10	0,11	4,39	0,96	5,4	15,8	4,0
1,81	1,91	0,08	0,27	3,88	2,76	5,6	20,8	4,4
2,02	2,06	0,08	0,30	3,89	2,49	5,5	21,1	4,4

тельного анализа изменения этих показателей в зависимости от длительности сельскохозяйственного использования почв есть все основания, так как по содержанию фракций почвообразующая порода во всех разрезах практически не различается. Следовательно, различия в степени выноса — накопления — это не следствие разнообразия пород, а результат продолжительности сельскохозяйственного освоения почвы.

Лесная почва контрастно отличается от пахотных высоким накоплением илистых частиц. Количество их в верхних горизонтах в 3—6 раз превышает содержание в почвообразующей породе.

Валовой химический состав почв

Известно, что гумусное состояние почв в значительной степени определяется их минеральным составом. Разнообразие экологических условий гумусообразования, зависящее от неадекватного антропогенного воздействия на пахотную почву как по вариантам опыта, так и в производственных условиях, в свою очередь, способствует преобразованию минеральной части почвы. В этой связи большой интерес представляет сравнительное изучение валового химического состава почв.

Данные валового химического состава лесной почвы (разрез 12, табл. 25) показывают, что она характеризуется высоким содержанием кремнезема (SiO_2), наибольшее количество которого обнаружено в верхних горизонтах, особенно в A1A2. Такое распределение содержания этого элемента свидетельствует о том, что здесь имеют место элювиальные процессы, сопровождающиеся относительным накоплением кремнезема в верхней части профиля. При этом из оподзоленной части почвенного профиля (глубина 15—19 см) активно выносятся железо, алюминий, магний и калий. Их количество минимальное в данном горизонте по сравнению с другими частями почвенного профиля. Об этом свидетельствуют и наиболее широкие молекулярные отношения $SiO_2 : Al_2O_3$ и $SiO_2 : Fe_2O_3$ в оподзоленном горизонте.

Максимум таких элементов, как кальций, фосфор, сера, которые биологически наиболее активно накапливаются, соответствует верхним горизонтам, и с глубиной содержание этих элементов падает. Для оценки степени проявления дернового процесса в рассматриваемой почве сравним содержание перечисленных элементов в гумусовом горизонте (1—5 см) и в почвообразующей породе (140—150 см). Относительно породы (горизонт C) содержание кальция в горизонте A1 увеличилось на 0,58, фосфора — на 0,17 и серы — на 0,34%.

Что же происходит с почвой при ее сельскохозяйственном использовании? В почве 5-летней пашни (без внесения органических удобрений) по сравнению с лесной усиливается дифференциация почвенного профиля по валовому химическому

составу. По сравнению с лесной почвой увеличилось не только содержание кремнезема, но и мощность толщи, обедненной химическими элементами. Об этом можно судить по более широким молекулярным отношениям $SiO_2 : R_2O_3$; $SiO_2 : Al_2O_3$ и $SiO_2 : Fe_2O_3$. Таким образом, в этом случае наблюдается глубокое разрушение почвенного поглощающего комплекса. Особенно сильному выносу подвергается железо, о чем можно судить по резко возросшей величине молекулярных отношений $SiO_2 : Fe_2O_3$, которые достигают в элювиальной толще рассматриваемой почвы 56,3, тогда как в лесном аналоге почвы максимальное значение показателя 44,6. В результате механической обработки почв создается сравнительно однородная толща пахотного горизонта, о чем свидетельствует стабильное количество кремнезема в разных его слоях. Однако в А пах выше, чем в подпахотном горизонте и в почвообразующей породе, содержание кальция, фосфора и серы, т. е. наблюдается их накопление. Между тем в пределах пахотного горизонта более высоким содержанием перечисленных питательных элементов отличается самый верхний его слой (0—5 см). Превышение количества этих элементов в пахотном горизонте по сравнению с породой составляет для кальция — 0,48, для фосфора — 0,16 и для серы — 0,05 %, т. е. даже при известковании и внесении минеральных удобрений более высокого, чем в лесной почве, накопления этих элементов не происходит. Все это дает основание считать, что в 5-летней пашне складываются неблагоприятные условия для биогенного накопления этих элементов. Вероятно, это обусловлено не только сильно выраженными элювиальными процессами, но и отчуждением из почвы части питательных элементов с урожаем, а также усилением процессов минерализации растительных остатков. Таким образом, в течение 5-летнего срока использования пашни резко активизируются процессы выноса вещества.

В почве 30-летней пашни элювиальные процессы значительно ослабевают. Здесь наблюдается закрепление железа и алюминия, в результате чего резко (по сравнению как с лесной, так и с почвой 5-летней пашни) уменьшаются отношения $SiO_2 : Al_2O_3$ и $SiO_2 : Fe_2O_3$. Эти изменения выражены лишь в пределах пахотного горизонта (преимущественно в слое 0—5 и 5—10 см), а в нижележащей толще сравниваемые почвы практически не различаются. Так же, как в рассмотренных выше разрезах (12, 13), в почве 30-летней пашни (разрез 14) в пахотном горизонте накапливаются кальций, фосфор и сера. Соответствующие расчеты показали, что в этом случае превышение содержания кальция в слое 0—5 см по сравнению с породой составляет 0,73, фосфора — 0,193 и серы — 0,154 %. Из приведенных данных следует, что накопление перечисленных элементов выражено в этом разрезе сильнее, чем в рассмотренных выше. Однако это не является следствием дернового процесса, зависящего от функционирования растительности. Вероятнее всего, это резуль-

тат известкования и внесения минеральных удобрений, хотя и не исключено некоторое участие в этом процессе пожнивно-корневых остатков.

В целом, однако, нужно считать, что в пахотных почвах накопление перечисленных элементов имеет не биогенную, а антропогенную природу. Очевидно, чем меньше срок между внесением удобрений и почвенным обследованием, тем больше разница в содержании этих элементов в пахотном слое и почвообразующей породе.

В почве 80-летнего использования под пашню без применения органических удобрений и, по-видимому, при недостаточном внесении минеральных вновь начинают усиливаться элювиальные процессы, однако в целом они проявляются здесь слабее, чем в почве 5-летней пашни. В частности, в первом случае несколько меньше содержание SiO_2 — 73 % против 76 % в пахотном горизонте 45-летней пашни. Отличаются они и по содержанию SiO_2 в подпахотном горизонте. На «старой» пашне (разрез 15) содержание SiO_2 оказалось выше по сравнению с 5-летней. Из подпахотного горизонта активно выносится железо, его количество здесь минимально в профиле. Отсюда и наибольшие показатели в этом горизонте молекулярных отношений SiO_2 : Fe_2O_3. Этим рассматриваемая почва принципиально отличается от других разрезов, для которых максимум этого показателя соответствует нижней части пахотного горизонта. Все это дает основание утверждать, что в целом мощность элювиальной толщи в почвах пахотных возрастает по мере возраста пашни.

Между тем в старопахотной почве (разрез 15) не наблюдается выноса алюминия, кальция и магния из подпахотного горизонта относительно пахотного и молекулярные отношения SiO_2 : Al_2O_3 убывают, как и в других сравниваемых разрезах, вниз по почвенному профилю. Что касается таких химических элементов, как фосфор и калий, то наибольшее их количество как в пахотном, так и в подпахотном горизонте обнаружено в старопахотной почве (разрез 15) за счет длительного применения минеральных удобрений. Эта почва отличается и более высоким содержанием марганца. Вероятнее всего, это обусловлено не столько применением микроудобрений, сколько уплотнением почвы и ухудшением степени ее дренированности. В анаэробных условиях железо становится подвижным и выносится за пределы пахотного горизонта.

Обращаясь к данным качественного состава гумуса, можно отметить взаимообусловленность минеральной и органической частей почв. Во-первых, по мере увеличения возраста пашни уменьшается содержание фракции 1 гуминовых кислот, непрочно связанных с полуторными оксидами, и в этом случае, как было показано выше, наблюдается сильный вынос валового железа. Во-вторых, возрастает содержание агрессивной фракции 1а фульвокислот, а следовательно, создаются более благоприятные

условия для процесса оподзоливания почв, что также согласуется с данными валового химического состава.

Таким образом, при длительном сельскохозяйственном использовании почв на фоне применения только минеральных удобрений и известкования, без внесения органических удобрений, происходит ухудшение свойств как органической, так и минеральной частей почв. При этом надо заметить, что скорость элювиальных процессов в почвах агроценозов, где потребление элементов питания преобладает над их поступлением и резко изменяется физическое состояние почв, быстро возрастает и может обусловить резкое и необратимое ухудшение свойств почв, сопоставимое с таким бедствием почв, как эрозия.

Формы и соединения железа в почвах

Влияние длительности сельскохозяйственного использования почв на соотношение форм и соединений железа оценивали на основе сравнительного изучения лесной и аналогичных ей разновозрастных (5-, 30- и 80-летних) пахотных почв. На всех полях проведено известкование и внесены в одинаковых нормах минеральные удобрения без применения органических.

Определение групп и форм железа показало (табл. 26), что в серой лесной почве наблюдается сравнительно небольшое содержание несиликатного железа (от 13 до 20 %) от валового его количества по профилю. На 5-летней пашне профиль почвы отчетливо разделяется на две части: верхнюю (пахотный горизонт) с высоким содержанием несиликатного железа и нижнюю — с содержанием, близким к соответствующим показателям в лесной почве. Исходя из этого можно предположить, что в первые 5 лет в пахотном горизонте сильно активизируются процессы выветривания, в результате чего высвобождается несиликатное железо. На состояние нижних горизонтов непродолжительное использование почв под пашню не оказывает влияния. В дальнейшем (на 30- и 80-летней пашне) характер расчленения профиля изменяется. В пределах пахотного горизонта обособляется слой 0—5 см, где содержание несиликатного железа значительно меньше, чем в остальной части этого горизонта, что, по-видимому, объясняется длительным припахиванием нижнего горизонта, который при обороте пласта оказывается на поверхности. В целом в старопахотных почвах по сравнению с 5-летней пашней становится меньше несиликатного железа не только в верхнем слое, но и в пределах всего почвенного профиля. Очевидно, за этот срок происходит преобразование мощной толщи, а не только пахотного горизонта, сопровождаемое ослаблением процессов выветривания. По-видимому, за этот период также сокращается резерв первичных минералов.

В рассматриваемых почвах несиликатное железо почти полностью состоит из окристаллизованных форм. Однако, если в

Таблица 26

Содержание групп и форм железа в серых лесных почвах разной длительности сельскохозяйственного использования, % от валового

№ разреза (угодье)	Глубина, см	Валовое	Силикатное	Несиликатное
12 (лес)	1—5	4,65	86,66	13,33
	5—19	4,45	79,32	20,68
	19—24	5,88	84,69	15,31
	24—90	7,46	85,79	14,21
	40—60	7,73	86,41	13,59
	70—80	7,35	84,76	15,24
	100—120	8,70	85,97	14,01
	140—160	8,25	86,66	13,32
13 (5-летняя пашня)	0—5	4,19	68,02	31,98
	5—10	4,07	68,30	31,70
	20—25	3,62	69,33	30,67
	25—30	5,96	87,42	12,58
	30—40	7,32	87,70	12,29
	70—80	9,50	89,79	10,21
	110—120	8,83	86,86	13,10
14 (30-летняя пашня)	0—5	6,65	91,14	8,86
	10—15	6,25	83,68	16,32
	20—25	6,19	23,36	16,64
	25—30	7,97	89,96	10,04
	40—60	7,36	90,08	9,92
	70—80	8,03	91,03	8,97
	100—120	7,39	91,39	9,61
	140—150	8,10	95,06	4,97
15 (80-летняя пашня)	0—5	4,69	86,14	13,86
	15—20	4,94	75,30	24,70
	20—25	4,92	79,06	20,24
	25—30	4,28	82,51	17,49
	50—60	7,93	89,78	10,22
	80—90	10,15	93,39	6,61
	100—110	7,87	94,02	5,98
	130—140	7,76	91,36	8,64

Окристаллизованное			Аморфное		
Общее	Сильно	Слабо	Общее	Органическое	Неорганическое
7,31	0,21	7,10	6,02	3,44	2,58
13,70	1,57	12,13	6,96	6,29	0,67
11,90	—	11,90	3,40	1,36	2,04
11,66	1,61	10,05	2,54	0,53	2,01
11,38	0,13	11,25	2,20	0,52	1,68
12,93	0,41	12,52	2,31	0,54	1,77
12,06	—	12,06	1,95	0,23	1,72
11,51	0,24	11,27	1,81	0,36	1,45
28,87	14,31	14,56	3,10	1,19	1,91
28,25	14,49	13,76	3,44	2,21	1,23
27,07	9,66	17,41	3,59	1,38	2,21
11,24	0,17	11,07	1,34	0,33	1,01
10,65	1,09	9,56	1,64	0,0	1,64
8,95	1,58	7,37	1,26	0,21	1,05
11,32	0,67	10,75	1,68	0,33	1,35
7,17	3,21	3,96	1,68	0	1,68
14,56	9,92	4,64	1,76	0	1,76
14,36	9,20	5,16	2,26	0,64	1,62
8,91	—	8,91	1,12	0	1,12
8,96	2,17	6,79	0,95	0	0,95
6,59	0,24	6,35	2,36	0	2,36
8,93	0,14	8,78	0,67	0	0,67
4,19	3,45	0,74	0,74	0	0,74
11,51	2,13	9,38	2,34	0	2,34
22,46	12,14	10,32	2,23	0	2,23
18,69	14,22	4,47	2,23	0	2,23
15,61	—	15,61	1,86	0	1,86
8,82	0,12	8,70	1,38	0	1,38
5,91	0,20	5,71	0,69	0	0,69
5,08	0,12	4,96	0,89	0	0,89
7,86	2,97	4,89	0,79	0	079

лесной почве резко доминирует слабо окристаллизованное железо, то в пахотных почвах значительная часть приходится на сильно окристаллизованные формы. В наибольшем количестве эта форма железа формируется в пахотном горизонте 5-летней пашни, что обеспечивается благоприятными условиями дренажа и прогревания почв. В нижележащей почвенной толще количество его резко убывает, по абсолютным значениям оно близко к лесному аналогу. В старопахотных почвах (30- и 80-летних) содержание сильно окристаллизованного железа в пределах всего почвенного профиля уменьшается и несколько возрастает в почвообразующей породе.

Аморфное железо шире представлено в лесной почве (разрез 12). В верхней части ее профиля преобладают аморфные железоорганические соединения, тогда как на 5-летней пашне доминирует аморфное неорганическое железо, а в старопахотных почвах аморфное органическое железо отсутствует. В нижней части профиля этих почв становится меньше и неорганического аморфного железа. Таким образом, полученные данные убедительно показывают, что использование лесных почв под пашню резко изменяет экологические условия почвообразования. При прочих равных условиях характер этих изменений определяется возрастом пашни. Наиболее выраженные качественные различия наблюдаются в первые годы освоения лесных почв под пашню. Без внесения органических удобрений в почвах происходит дегумификация, в основном за счет уменьшения качества аморфных железоорганических соединений.

ГЛАВА 5

ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПАХОТНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ «УДАРНЫХ» ДОЗ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Известно, что гумусное состояние пахотных почв определяется в той или иной мере дозами и периодичностью внесения органических, минеральных удобрений, извести и зависит от механической обработки почвы и количества растительных остатков, поступающих в почву после уборки урожая возделываемых культур [10, 12, 45, 78, 79, 92, 107, 109—111, 113, 130, 138, 160, 173, 197, 198, 217, 219, 275, 287]. При этом заметим, что одни и те же агротехнические приемы по-разному влияют на гумус различных типов почв, а литературные данные о характере и степени влияния агротехники на размеры накопления и состав гумуса даже одного и того же типа почв подчас противоречивы.

Л. Н. Александрова [10] отмечала дискуссионность вопроса о роли органических удобрений в поддержании бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах. Ряд исследователей [160, 161, 185, 200, 285] считают обязательным использование органических удобрений для создания бездефицитного баланса по гумусу, другие [157, 158] полагают, что повышение содержания гумусовых веществ может быть достигнуто путем систематического внесения повышенных доз минеральных удобрений, обеспечивающих рост продуктивности возделываемых культур и поступление в почву больших масс пожнивно-корневых остатков.

Согласно «Рекомендациям для исследования баланса и трансформации органического вещества...» [212], бездефицитный баланс органического вещества в пахотных почвах Нечерноземной зоны может быть достигнут при применении не менее 10 т/га навоза на суглинистых и 12—15 т/га на супесчаных (в расчете на год) при соблюдении севооборотов с посевом многолетних трав, передовой агротехники, рекомендуемых норм минеральных удобрений и извести. По данным уральских почвоведов, положительный баланс гумуса может быть достигнут при внесении 10—12 т/га, а на малогумусных почвах — на фоне 15—18 т/га в год органических удобрений [88].

Однако достижение оптимальных уровней содержания гуму-

са и создание бездефицитного баланса органического вещества в пахотных почвах связывают не только с регулярным внесением органических удобрений в упомянутых дозах, но и с применением высоких («ударных», или мелиоративных) доз таких удобрений [10, 95, 118].

По данным Л. Н. Александровой [10], однократное внесение доз порядка 150 т/га органических удобрений коренным образом переделывает гумусово-аккумулятивный горизонт пахотных дерново-подзолистых почв, резко улучшая в нем все основные физико-химические и биологические параметры. Н. И. Карманов [95] приводит сведения по колхозу «Оснежицкий» Брестской области Беларуси, где органику вносят дозами порядка 120 т/га раз в 5 лет. При этом в течение короткого периода удалось окультурить почвы, значительно поднять их плодородие. Отмечается при этом, что подобные высокие дозы удобрений оправдывают себя экономически уже в первые годы, поскольку резко повышают урожай.

Для решения ряда теоретических и практических аспектов этой проблемы нами было предпринято комплексное изучение влияний высоких доз органических удобрений на основе многолетнего опыта, заложенного на серых лесных почвах в совхозе «Бородулинский» Свердловской области.

5.1. ПОЖНИВНО-КОРНЕВЫЕ ОСТАТКИ КАК ИСТОЧНИК ПОПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Как уже отмечалось, в пахотных почвах существенным, а в ряде случаев и единственным, источником пополнения запасов почвенного органического вещества являются пожнивно-корневые остатки выращиваемых культур. Кроме того, они содержат немало элементов питания вступающих в круговорот веществ в системе растение — почва. Количество минеральных веществ, возвращающееся в почву, находится в прямой зависимости от массы и химического состава корневых и пожнивных остатков. Поэтому определение массы подземных органов и изучение их распределения по генетическим горизонтам почвенного профиля и отдельным слоям пахотного горизонта имеет существенное значение для решения таких важных в теоретическом и практическом плане вопросов, как разработка и обоснование зональных систем земледелия, чередование культур в севооборотах, определение доз удобрений и пр.

Конкретные сведения о влиянии внесения высоких доз органических удобрений на продуктивность подземных органов сельскохозяйственных культур в литературе до сих пор отсутствуют. Не удалось достаточно полно оценить степень экологической пластичности и консервативности морфологической и анатомической структуры корней зерновых злаков [236, 237].

На примере агроценозов опытного поля совхоза нами изучена структура подземных органов зерновых злаков и сорных растений, оценены размеры накопления биомассы подземных органов культур зернового и зернотравяного севооборотов [165—167, 171], дана оценка средообразующей роли корней культурных растений [166, 168].

Проведенные исследования позволяют отметить, что в агрофитоценозах практически все однолетние злаки, культивируемые и сорные, имеют поверхностную интенсивную корневую систему. Корни зерновых злаков проникают до глубины 1 м и более, однако основная масса подземных органов сосредоточена в пахотном горизонте, где может находиться у различных растений к фазе молочно-восковой спелости от 67 до 89 % биомассы корней.

Иллювильные горизонты значительно уплотнены, обладают малой порозностью и степенью аэрации, и в них корни растений проникают преимущественно по своим старым ходам, трещинам и пустотам между почвенными агрегатами. Если в пахотном горизонте на всех агрофонах корни злаков сильно ветвятся, образуя многочисленные корешки третьих-четвертых порядков ветвления, которые пронизывают все почвенные агрегаты этого горизонта, то в подпахотных слоях корни внутрь агрегатов не проникают.

Глубина проникновения корневых систем зерновых злаков различна: наиболее глубоко в почву (до 130 см) распространялись подземные органы озимой ржи и яровой пшеницы, глубина проникновения корней других злаков ограничивалась 90—100 см. На плодородном и улучшенном агрофонах была отмечена меньшая по сравнению с освоенным глубина проникновения корней ячменя и овса, однако для ржи и пшеницы такой закономерности обнаружено не было. Наименьшая глубина проникновения корней на всех агрофонах зафиксирована для посевов «однолетних трав» (озимая рожь с подсевом в рядки смеси гороха, овса, пшеницы). В данном случае сказались как сильная загущенность посевов, так и смешанный состав посевов, когда растения формируют менее глубокую корневую систему [82].

С урожаем из биологического круговорота в агроценозах отчуждается значительное количество органического вещества. На долю пожнивно-корневых остатков в структуре общей фитомассы в наших опытах, в зависимости от биологических особенностей выращиваемой культуры и уровня плодородия почвы, приходилось 30—40 %.

По данным 1983 г., с урожаем (зерно, солома) в посевах ячменя на освоенном агрофоне удалялось с делянок 509,2 г/м^2, или 63,6 % всей фитомассы, а на улучшенном и плодородном — 557,7 и 667,2 г/м^2, что составило соответственно 64,6 и 67,1 % общей фитомассы, а отношение удаляемой с поля фитомассы к остающейся там оказалось равным 1,75 на освоенном фоне и

1,82 и 2,04 — на улучшенном и плодородном агрофонах. В почву же после уборки урожая возвратилось с пожнивно-корневыми остатками значительное количество органики: на освоенном — 291,1, на улучшенном — 305,5 и плодородном агрофоне — 326,7 г/м^2. Следует отметить, что по мере увеличения плодородия почвы не только возрастает общая биологическая продуктивность посевов ячменя, но и увеличивается возвращение в почву органического вещества с пожнивно-корневыми остатками (табл. 27), хотя и доля корней в структуре общей фитомассы ячменя по мере увеличения плодородия почвы снижается. В общем-то аналогичную картину наблюдаем и в посевах овса, хотя наибольшей масса подземных органов оказалась на освоенном агрофоне, а не на плодородном (см. табл. 27).

Озимая рожь среди зерновых злаков оставляет на поле наибольшее количество пожнивно-корневых остатков (320—369 г/м^2). Однако в отличие от ячменя и овса с повышением плодородия почвы доля корней озимой ржи в структуре общей фитомассы возрастала (см. табл. 27). В почву после уборки урожая в зависимости от агрофона поступало 311—340 г/м^2 органического вещества.

В посевах зерновых культур нередко в значительных количествах присутствуют на опытном поле и сорные растения, преимущественно овсюг обыкновенный, поэтому интересно было выяснить, как это растение реагирует на внесение высоких доз органических удобрений (табл. 28). Оказалось, что овсюг на повышение плодородия почвы отвечает увеличением общей фитомассы растения в 1,7 раза и уменьшением доли подземных органов в ее структуре, т. е. так же, как и выращиваемые зерновые злаки.

Значительный как в теоретическом, так и в практическом плане интерес представляют данные о роли промежуточных культур в пополнении запасов почвенного органического вещества. Промежуточные культуры увеличивают количество поступающих в почву растительных остатков и во многом определяют степень гумусированности почвы при сложившихся в хозяйстве структуре посевных площадей и агротехнике [59, 153, 250]. По данным М. М. Ломакина [156], промежуточные культуры в условиях интенсивного земледелия могут компенсировать при ежегодном их возделывании расход 2—3 т/га гумусовых веществ.

На опытном поле совхоза промежуточные культуры выращивали в зернотравяном севообороте. Возделывание этих культур в полевых севооборотах исключительно выгодно, так как они не только улучшают плодородие почвы, но и позволяют насытить севообороты зерновыми культурами (до 83 %), уплотнить посевы и получить больше продукции за один год с одной и той же площади [244, 245]. Несмотря на то, что в Свердловской области давно практикуется выращивание промежуточных культур в зерновых севооборотах [244, 245], конкретных данных

Таблица 27

Продуктивность посевов зерновых культур, «однолетних трав», ярового рапса и количество пожнивно-корневых остатков, поступающих в почву (отвальная обработка, 1983 г.)

Уровень плодородия почвы (агрофон)	Фитомасса, г/м²			Отношение надземной фитомассы к подземной	Поступление в почву пожнивно-корневых остатков, г/м²
	Общая	Надземная	Подземная		
Ячмень «Луч»					
Освоенный	800,3	636,3 (79,5)	164,0 (20,5)	3,88	291,1 (36,4)
Улучшенный	863,2	688,1 (79,7)	175,1 (20,3)	3,93	305,5 (35,4)
Плодородный	993,9	795,9 (80,1)	198,0 (19,9)	4,02	326,7 (32,9)
Овес «Астор»					
Освоенный	894,0	680,0 (76,1)	213,4 (23,9)	3,19	323,6 (36,2)
Улучшенный	905,1	724,9 (80,1)	180,2 (19,9)	4,02	311,2 (34,4)
Плодородный	992,5	797,0 (80,3)	195,5 (19,7)	4,08	340,5 (34,3)
Озимая рожь «Чулпан»					
Освоенный	1075,0	890,0 (82,8)	185,0 (17,2)	4,81	320,0 (29,8)
Улучшенный	1062,0	853,0 (81,2)	209,0 (19,8)	4,08	348,0 (32,8)
Плодородный	1197,0	950,0 (79,4)	247,0 (20,6)	3,84	369,0 (30,8)
«Однолетние травы»					
Освоенный	Нет свед.	375,9	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.
Улучшенный	То же	429,4	»	»	»
Плодородный	»	480,8	»	»	»
II укос					
Освоенный	489,4	320 (65,4)	169,1 (34,6)	1,89	291,4 (59,5)
Улучшенный	549,5	357,5 (65,1)	192,0 (34,9)	1,86	297,5 (54,1)
Плодородный	683,6	373,2 (54,6)	310,4 (45,4)	1,20	444,6 (65,0)
Яровой рапс					
III укос					
Освоенный	237,7	124,0 (52,2)	113,7 (47,8)	1,09	172,7 (72,7)
Улучшенный	523,4	326,0 (62,2)	198,4 (37,8)	1,64	318,4 (60,7)
Плодородный	778,6	557,0 (71,5)	221,6 (28,5)	2,51	264,6 (46,8)

Примечание. Здесь и в табл. 28 в скобках — значение в процентах.

Таблица 28

Накопление овсюгом обыкновенным абсолютно сухого вещества в фазу молочно-восковой спелости в зависимости от агрофона (отвальная обработка)

Агрофон	Фитомасса, г		Биомасса, растения, г	Отношение надземной фитомассы к корням
	Надземная	Подземная		
Освоенный (межа поля)	1,967 (76,3)	0,340 (14,7)	2,307	5,79
Плодородный (межа поля)	3,419 (89,5)	0,403 (10,5)	3,822	8,48

Таблица 29

Поступление пожнивно-корневых остатков полевых культур за ротацию севооборота, ц/га

Севооборот	Агрофон	Стерня	Корни	Всего пожнивно-корневых остатков
100 % зерновых	Освоенный	52,8	132,1	184,9
	Плодородный	60,3	129,3	189,6
80 % зерновых	Освоенный	62,0	121,7	183,7
	Плодородный	65,4	141,0	206,4
40 % зерновых	Освоенный	54,9	133,6	188,5
	Плодородный	73,3	153,1	226,4

Таблица 30

Соотношение площади коры (числитель) и центрального цилиндра (знаменатель) на поперечных срезах зародышевых и узловых корней озимой ржи и овсюга в зависимости от уровня плодородия почвы, %

Растение	Группа корней	Агрофон		
		Освоенный	Улучшенный	Плодородный
Озимая рожь	Зародышевые	48,8/51,2	59,4/40,6	61,2/38,8
	Узловые	76,9/23,1	88,8/11,2	88,4/11,6
Овсюг обыкновенный	Зародышевые	16,3/83,7	Нет свед.	32,3/67,7
	Узловые	75,8/24,2	Нет свед.	85,8/14,2

о количестве растительных остатков, оставляемых на поле после уборки урожая выращиваемой культуры, в литературе нет.

Впервые для Среднего Урала нами проведено сравнительное изучение на разных агрофонах опытного поля Бородулинского совхоза особенностей размещения в почве корней подсевных и поукосных культур и определена их биомасса. В опытах Ю. Г. Красуского покровной культурой служила озимая рожь, а подсевной — смесь гороха, овса, пшеницы. Все технологические операции проведены в соответствии с рекомендациями В. Ф. Трушина с соавторами [244]. Данные о биологической продуктивности покровной, подсевной (условно названа «однолетними травами») и поукосной культуры (рапс) приведены в табл. 27.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования плодородного агрофона для выращивания подсевных и поукосных культур. В почву после уборки урожая этих культур поступает и значительное количество растительных остатков. Причем на плодородном агрофоне их масса оказалась в 1,5 раза больше, чем на освоенном и улучшенном. Фитомасса корней к моменту второго укоса на освоенном, улучшенном и плодородном агрофонах составила соответственно 169, 192 и 310 г/м^2, а отношение надземной фитомассы к подземной соответственно равнялось 1,89; 1,86 и 1,20 (см. табл. 27). Такие коэффициенты продуктивности корневых систем растений в смешанных посевах объясняются, очевидно, складывающимися там специфическими фитоценотическими условиями, а также тем, что растения скашивались в более раннюю фазу своего развития — начало трубкования. Последний факт явился причиной и того, что ткани растительных остатков были менее лигнифицированными, чем если бы растения скашивались в более поздние сроки, что в свою очередь вызвало и более интенсивную трансформацию пожнивно-корневых остатков этих культур.

Поскольку корни гороха легко отличить по внешнему виду от корней злаков, их масса была учтена нами отдельно. Ее доля в общей биомассе подземных органов «однолетних трав» составила 10—12 %, а глубина проникновения в почву была не меньшей, чем у остальных компонентов смешанного посева. Однако коэффициент продуктивности подземных органов гороха в смешанных посевах вычислить не удалось, поскольку в опытах продуктивность его надземных органов не определяли. По данным В. Н. Зайцева [82], коэффициент продуктивности корневой системы гороха в смешанных посевах колеблется от 7,1 до 8,2, масса корней составляет 12—14 % всей биомассы растения, в чистом же посеве коэффициент продуктивности корневой системы равен 5,6, а масса корней — 18 %. Исследователи, изучавшие смешанные посевы, отмечали, что корневые выделения уменьшают взаимопроникновение корней соседних растений [88, 220], поэтому корневая система в смешанных посевах у растений бо-

лее компактна, чем в чистых или у одиночных растений, и в то же время компоненты смешанного посева при правильном их подборе могут взаимокомпенсировать расход элементов питания [297].

Глубина проникновения в почву корней гороха на освоенном агрофоне была меньшей, чем на улучшенном и плодородном, и ограничена 60—70 см. Это связано в целом с худшим развитием растений на освоенном агрофоне.

В почвенном профиле масса корней гороха располагалась следующим образом, %: на освоенном агрофоне в слое 0—10 см — 51; 10—20 см — 32; 20—30 см — 6; 38—40 см — 5, и далее (до глубины 70 см) биомасса корней плавно уменьшалась. На двух других агрофонах распределение подземных органов гороха было следующим, %: 0—10 см — 47—48; 10—20 см — 25; 20—30 см — 8—10; 30—40 см — 8—9; 40—50 см — 3—4, далее масса корней так же плавно убывала.

Выращивание поукосной культуры — ярового рапса — позволило обогатить почву дополнительной органикой в объеме 172,7 г/м^2 на освоенном, 318,4 — улучшенном и 364,6 г/м^2 — плодородном агрофонах. Причем доля пожнивно-корневых остатков в структуре общей фитомассы посевов составила соответственно 73, 61 и 47 %, а коэффициенты продуктивности корневой системы рапса оказались равными 1,09 — на освоенном, 1,64 — на улучшенном и 2,51 — на плодородном агрофонах. В целом за вегетационный период при выращивании «однолетних трав» и поукосного рапса в почву поступило на всех агрофонах большое количество органического вещества в виде пожнивных и корневых остатков: 464,1 г/м^2 — на освоенном, 615,9 — улучшенном и 809,2 г/м^2 — плодородном агрофонах.

На основе полученных данных о массе пожнивно-корневых остатков можно построить следующие ряды убывания роли различных культур в пополнении запасов почвенного органического вещества: на освоенном агрофоне — «однолетние травы» + поукосный рапс > овес > озимая рожь > ячмень, а на улучшенном и плодородном — «однолетние травы» + поукосный рапс > озимая рожь > овес > ячмень. При возделывании зерновых культур эта приходная статья в балансе органического вещества пахотных почв может корректироваться путем изменения высоты среза соломы либо внесением в почву всего урожая соломы. В последнем случае будет наблюдаться максимальное восполнение пахотной почвы органическим веществом, созданным в процессе фотосинтеза культурных растений.

Значительный практический интерес представляет общее количество растительных остатков, которое поступает в почву за ротацию севооборота. Используя наши данные и рассчитав по регрессионным уравнениям, предложенным Ф. И. Левиным [151], количество пожнивно-корневых остатков, для всех культур севооборота получили обобщенные результаты (табл. 29).

Таким образом, наибольшее количество остатков накапливается на плодородном фоне, оно возрастает от 189,6 до 226,4 ц/га по мере уменьшения насыщения севооборота зерновыми культурами.

Динамика запасов подземных органов полевых культур и растительных остатков

Наблюдения за динамикой накопления подземной фитомассы в агроценозах позволяют наиболее полно оценить вклад подземных органов культурных растений в пополнение запасов почвенного органического вещества в разных почвенно-экологических условиях. Исследованиями, проведенными на опытном поле совхоза, установлено, что нарастание подземной фитомассы у зерновых злаков на всех агрофонах происходит постепенно и к моменту молочной спелости достигает наибольших величин, и только у озимой ржи — к цветению [165, 166]. Анализ отдельных групп корней (первичных или зародышевых, вторичных или узловых) у ржи, пшеницы, ячменя и овсюга показал, что количество первичных корней весьма стабильно и не меняется в зависимости от уровня плодородия почвы. Зародышевые корни интенсивно развиваются в период от прорастания зерна до фазы кущения и играют в этот момент ведущую роль в питании растения. В структуре общей биомассы подземных органов злаков доля этих корней чрезвычайно мала. В литературе отмечается [72, 86, 105, 126, 229], что вопрос о продолжительности существования зародышевых корней не решается однозначно. Есть сведения о том, что эти корни рано отмирают или сохраняются до конца вегетации. И. В. Красовская [125] отмечает, что в противоположность общепринятому взгляду зародышевые корни злаков остаются живыми и растущими вплоть до созревания и часто (как возникающие первыми) достигают наибольшей глубины, что подтверждается и нашими исследованиями [166].

Проведенные нами на опытном поле совхоза исследования показали, что эти корни проникают глубоко в почву (60—80 см) и сохраняются до конца вегетации. Кроме того, у всех зерновых злаков эта группа корней имеет весьма постоянное, практически не зависящее от внешних условий строение [127, 249]. По данным И. В. Красовской [127], диаметр их очень мал (0,4—0,5 мм), первичная кора имеет не более пяти-шести слоев клеток и в ней отсутствует экзодерма, в связи с чем кора рано разрушается. При этом, как показали наши исследования, к фазе молочно-восковой спелости соотношение площади первичной коры и центрального цилиндра на поперечном срезе корня оказывается различным у растений, выросших на разных агрофонах (табл. 30). На плодородном агрофоне процессы отмирания и слущивания клеток первичной коры идут медленнее, чем на естественном и улучшенном. Данный факт был учтен при оценке

Таблица 31

Динамика числа узловых корней озимой ржи «Чулпан» на различных агрофонах

Фенологическая фаза	Агрофон	
	Освоенный	Улучшенный
Начало кущения	4,1±0,76/ 4,3±0,43	6,2±0,87/ 4,7±0,54
Конец кущения	11,6±0,54/10,9±0,76	11,1±0,65/ 9,9±0,65
Трубкование	14,9±0,80/11,3±0,65	16,4±0,87/12,5±0,76
Колошение	18,0±0,80/14,4±1,01	18,7±1,30/16,8±0,76
Цветение	18,2±1,08/Нет свед.	21,3±0,97/Нет свед.
Молочно-восковая спелость	18,3±0,94/ »	21,4±0,83/ »

Примечание. В числителе — озимая рожь на зерно, в знаменателе — то же как

средообразующей роли подземных органов растений в агрофитоценозах [168].

Если количество зародышевых корней у зерновых злаков остается постоянным на протяжении всего периода вегетации, число узловых корней, начиная с фазы всходов, интенсивно увеличивается и зависит от экологических условий [72, 73, 125, 202, 229, 230, 249].

Наблюдения за динамикой числа узловых корней у озимой ржи сорта «Чулпан» на различных агрофонах показали, что образование этих корней идет вплоть до молочно-восковой спелости. Однако наиболее интенсивно этот процесс протекает в период кущения — колошения (табл. 31). К концу кущения у растений уже формируется до 50 % и более числа узловых корней. В фазу цветения — молочно-восковой спелости число корней практически не меняется.

По данным табл. 31 видно, что на количество узловых корней оказывает заметное влияние уровень плодородия почвы. Больше всего корней к фазе молочно-восковой спелости у растений отмечено на плодородном агрофоне (22,4±0,50), а меньше — на освоенном (18,3±0,94). Различия в количестве узловых корней связаны с интенсивностью кущения растений, а на плодородном агрофоне растения имеют множество побегов.

Фитоценотическая обстановка, т. е. одновидовой посев или многовидовой, а также степень их загущенности повлияли на число узловых корней озимой ржи (см. табл. 31). Их количество в посевах озимая рожь+всевная культура было меньше на всех агрофонах, чем в посевах ржи на зерно.

Изменение эдафических условий сказывается и на анатомическом строении этой группы корней злаков. Данные табл. 32 свидетельствуют, что по мере повышения почвенного плодородия в структуре узловых корней увеличивается доля первичной коры

и уменьшается степень развития механических тканей. Данный факт интересен тем, что корни, имеющие в своей структуре значительное количество лигнифицированных тканей, разлагаются в почве весьма медленно [116].

Агрофон
Плодородный
6,2±0,43/ 5,7±0,54
13,0±0,54/10,3±1,19
19,0±0,76/17,7±0,87
22,4±0,54/18,0±0,43
22,5±0,60/Нет свед.
22,4±0,50/ »

покровная культура.

Заметим, что данные по количеству узловых корней не дают полного представления о динамике развития подземных органов растений. Этот недостаток восполняют сведения о приросте корней в ту или иную фенологическую фазу. Согласно литературным данным [249], прирост корней озимой ржи в период от всходов до начала кущения составляет 2,5 см в сутки, от кущения до колошения — около 2 см, от колошения до цветения — около 1 см, а от цветения до созревания прироста корней нет или он ничтожен (1—4 мм в сутки). Х. Мяги и Ю. Росс [181] отмечают аналогичную картину в приросте корней и накоплении подземной фитомассы для растений ячменя. По данным этих авторов, этап интенсивного накопления фитомассы корней и листьев продолжается от сева до пятого листа, или примерно до 25 дней от появления всходов, из чего следует, что основная масса корней формируется к середине кущения, а в дальнейшем интенсивность накопления их фитомассы уменьшается.

При трактовке данных о фитомассе корней, накапливаемой в разные периоды роста культуры, следует учесть, что начиная с фазы молочно-восковой спелости биомасса подземных органов злаков может даже несколько уменьшаться [229], что связано с отмиранием корешков последних порядков ветвления, слущиванием клеток ризодермы и первичной коры. Однако зафиксировать данное уменьшение массы корневой системы растения не всегда удается из-за грубости применяемых методов отмывки корней от почвы.

В результате проведенных исследований установлено, что процессы прироста и отмирания корней, происходящие на разных глубинах с различной интенсивностью, формируют весьма сложную динамику запасов биомассы подземных органов. Так, в 1984 г. в агроценозе с яровой пшеницей максимум запасов живых корней в пахотном горизонте отмечен в фазу молочной спелости, а к моменту уборки урожая биомасса подземных органов пшеницы в этом горизонте уменьшилась примерно на 10 %, однако в пахотных горизонтах наблюдаем увеличение биомассы корней вплоть до полной спелости. В посевах ячменя в 1985 г. также наблюдалось увеличение запасов корней вплоть до полной спелости, но из-за отсутствия учета в фазу молочной спелости делать окончательный вывод не совсем корректно.

Таблица 32

Анатомическое строение узловых корней озимой ржи «Чулпан», (1983 г.) при разных уровнях плодородия почвы

Агрофон	Анатомические показатели, мкм			
	Диаметр корня	Диаметр центрального цилиндра	Ширина коры	Ширина склеренхимного кольца
Освоенный	1115,10	535,50	289,80	97,70
Улучшенный	1108,50	370,70	368,90	68,30
Плодородный	1071,20	365,50	352,85	57,80

В результате механической обработки почвы в пахотный горизонт заделываются пожнивные остатки, остающиеся на поле после уборки урожая. Кроме того, в этом горизонте сосредоточена основная масса подземных органов растений. В течение вегетационного периода наблюдаются изменения в соотношении между запасами слабо разложившихся и частично гумифицированных остатков: масса первых на протяжении всего вегетационного периода постепенно уменьшается, т. е. они превращаются в частично гумифицированные. Интенсивность процессов трансформации растительных остатков зависит не только от почвенно-климатических условий, но и от количества и качества поступающего в почву растительного материала.

В разные годы (1984 и 1985) процессы трансформации растительных остатков шли с различной интенсивностью, о чем свидетельствуют следующие данные: в 1984 г. в фазу всходов отношение массы слабо разложившихся к частично гумифицированным составило 1,9, молочной спелости — 0,9, а к моменту уборки урожая данный показатель был также равен 0,9. За вегетационный период масса слабо разложившихся остатков уменьшилась примерно в 2,3 раза, а запасы частично гумифицированных остатков остались практически без изменений: 119 г/м^2 в фазу всходов и 115 г/м^2 в фазу полной спелости. В 1985 г. отношение массы слабо разложившихся к частично гумифицированным в указанные сроки было равно 1,3; 1,4 и 1,9 соответственно. Следовательно, за вегетационный период 1985 г. запасы слабо разложившихся растительных остатков в пахотном горизонте уменьшились в 2,8 раза, а частично гумифицированных — в 4,1 раза.

Таким образом, в почвах агроэкосистем наблюдается исключительно сложная динамика запасов живых подземных органов растений и растительных остатков разной степени разложения. Сопоставление данных о запасах последних с количеством поступающих в почву пожнивно-корневых остатков позволяет сделать вывод, что в течение года большая их часть разлагается.

Соотношение в почве масс слабо разложившихся и уже частично гумифицированных обусловлено рядом факторов: количеством и качеством поступившего в почву растительного материала, складывающимися климатическими и эдафическими условиями. Выступая в роли «потенциального гумуса», они оказывают существенное влияние на гумусное состояние пахотных почв. Полученные материалы позволили оценить средообразующую роль подземных органов растений в агрофитоценозах. Она проявляется при жизни растений в обогащении почвы органическим веществом за счет корневых выделений, отмирающих корневых волосков, слущивающихся клеток ризодермы и первичной коры. С учетом полученных нами [168, 171] и литературных данных [221], прижизненное влияние корней злаков примерно оценено в 40—70 г/м^2 органических веществ в год.

Влияние механической обработки почвы на размещение и запасы в ней корневых систем растений и растительных остатков

Известно, что механическая обработка почвы играет главную роль в создании благоприятных агрофизических условий, т. е. позволяет регулировать соотношение объемов твердой, жидкой и газообразной фаз почвенной системы и протекающие в ней различные почвенные процессы.

Для Среднего Урала разработаны системы механической обработки почвы, а также изучено их влияние и воздействие отдельных приемов на урожай и качество основных сельскохозяйственных культур [140, 172]. Установлено [70], что обработка почвы непосредственно влияет на рост и развитие подземных органов растений, однако конкретных региональных данных, показывающих зависимость размещения корней растений в пахотном горизонте от видов механической обработки, нет.

Изучение влияния обработки почвы на профильное распределение живых корней и растительных остатков предшествующей культуры проведено в посевах ячменя на освоенном агрофоне. Установлено, что в пахотном горизонте (0—20 см) при минимальной, плоскорезной и отвальной обработках к фазе молочно-восковой спелости было сосредоточено соответственно 78, 77 и 81 % от общей биомассы подземных органов растений (табл. 33). Причем при плоскорезной обработке биомасса подземных органов ячменя оказалась выше (на 1,5—2,0 ц/га) по сравнению с двумя другими, как в слое 0—20 см, так и в слое — 0—100 см. На делянках с минимальной обработкой почвы в верхнем слое (0—10 см) масса живых корней более чем в 2 раза превосходит таковую в нижележащем слое (10—20 см). При плоскорезной и отвальной обработках уменьшение биомассы живых подземных органов с глубиной происходит, но не так резко, как при минимальной обработке. На делянке с безот-

Таблица 33

Запасы корней ячменя и растительных остатков в почве освоенного агрофона в зависимости от обработки почвы

Обработка	Слой почвы, см	Живые корни	Растительные остатки		
			Разложившиеся	Гумифицированные	Сумма
Минимальная	0—20	149,76/78,2	75,94/77,7	79,19/74,2	155,13
	0—50	180,36/94,2	91,22/93,3	101,44/95,0	192,66
	0—100	191,49/100,0	97,71/100,0	106,72/100,0	204,43
Плоскорезная	0—20	163,77/77,4	87,02/78,6	74,84/77,7	161,86
	0—50	199,34/94,3	103,50/93,5	89,93/92,9	192,89
	0—100	211,45/100,0	110,66/100,0	96,23/100,0	206,89
Отвальная	0—20	149,59/81,3	78,89/82,1	41,35/70,8	120,24
	0—50	173,30/94,2	93,34/95,9	54,41/93,2	147,75
	0—100	183,82/100,0	97,30/100,0	58,36/100,0	155,66

Примечание: В числителе — г/м², в знаменателе — %.

Таблица 34

Влияние обработки почвы на длину корней ячменя, выращенного на освоенном агрофоне

Слой почвы, см	Вид обработки								
	Отвальная			Минимальная			Безотвальная		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0—10	315,5	0,179	3,155	320,8	0,170	3,687	304,3	0,175	3,237
10—20	297,1	0,210	2,153	140,2	0,220	0,934	205,8	0,198	1,687
20—30	50,4	0,226	0,315	60,1	0,237	0,343	80,1	0,230	0,491
30—40	8,1	0,238	0,046	20,1	0,252	0,102	22,4	0,320	0,070
40—50	8,8	0,280	0,036	10,2	0,250	0,052	23,0	0,275	0,098
50—60	8,8	0,265	0,040	7,1	0,224	0,045	17,1	0,291	0,065
60—70	1,6	0,220	0,011	1,8	0,210	0,013	5,6	0,230	0,034
70—80	0,5	0,207	0,004	1,5	0,200	0,012	1,6	0,211	0,007
80—90	0,4	0,205	0,003						
90—100	0,3	0,190	0,003	0,4	0,200	0,003	0,5	0,200	0,004
Всего			5,766			5,188			5,693

Примечание. 1 — объем корней, см³; 2 — средний радиус корня, мм; 3 — длина корней, км/м².

вальной обработкой в слое 20—30 см содержится корней больше как в относительных, так и в абсолютных величинах, в сравнении с двумя другими обработками. В нижележащих слоях почвы в распределении корней на делянках с разной обработкой существенных различий не обнаружено. В значительном количестве корни ячменя еще встречаются в иллювиальном горизонте на глубине 40—70 см, несмотря на его плотность, но в более глубокие слои почвы проникают лишь единичные корни. Высокая прочность агрегатов не позволяет корням злаков пронизывать их, как пахотный слой, и распространение корней в подпахотных горизонтах осуществляется по трещинам, порам и пустотам. Нередко по крупным пустотам, которые могут оставаться от разлагающихся крупных корней (преимущественно сорных растений), корни злаков концентрируются целыми пучками.

Из приведенных в табл. 32 данных следует, что в почве агроценозов, помимо живых корней, содержится значительное количество растительных остатков, в той или иной мере гумифицированных. В целом их распределение в почвенной толще сходно с распределением живых корней, поскольку разложение большей части растительных остатков происходит в А пах. Исключение составляет только та часть почвенного профиля, где размещение растительных остатков определяется особенностями механической обработки почвы.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что масса растительных остатков примерно одинакова с запасами живых подземных органов или несколько превышает их. Исключение составляет делянка с отвальной обработкой, где в почве отмечено больше живых корней, чем растительных остатков.

Соотношение слабо разложившихся и частично гумифицированных растительных остатков различно как в разных генетических горизонтах почвы, так и в отдельных слоях пахотного горизонта. Различия в пахотном горизонте между его верхней и нижней частями объясняются также особенностями механической обработки почвы.

При отвальной обработке в нижней части пахотного горизонта находится больше растительных остатков, чем в верхней, что достигается ежегодной заделкой соломы, стерни на глубину не менее 20 см. В почве же, вынесенной на поверхность, создаются исключительно благоприятные условия для быстрой минерализации органики (высокая пористость, хорошая аэрация активируют жизнедеятельность микроорганизмов), и количество гумифицированных остатков примерно одинаково как в слое 0—10, так и в слое 10—20 см. Судя по отношениям гумифицированных растительных остатков к частично разложившимся в слоях 0—10 и 10—20 см (0,53 и 0,51 соответственно), можно предположить, что процессы трансформации растительных остатков протекают в этих слоях примерно с одинаковой скоростью. В подпахотных горизонтах масса растительных остатков и жи-

вых подземных органов примерно одинакова или масса последних несколько меньше. Этот факт свидетельствует о том, что около 50 % массы корней предшествующей культуры разлагается в течение года.

Масса растительных остатков в слоях 0—10 и 10—20 см при безотвальной обработке одинакова. На делянке с минимальной обработкой в слое 0—10 см их содержится намного больше, чем в нижележащем слое 10—20 см, однако в последнем больше гумифицированных остатков, чем в нижележащем слое 0—10 см. На делянке с минимальной обработкой в слое 10—20 см сосредоточено 47 % массы гумифицированных остатков, а с безотвальной — 45 %, отношение массы гумифицированных остатков к частично разложившимся составляет соответственно 2,42 и 1,22. На основе этих данных можно сделать вывод о более интенсивных процессах гумификации растительных остатков при минимальной обработке, что согласуется с данными по общим физическим свойствам (объемной массе, порозности, степени аэрации).

В слое 0—10 см, который подвергается интенсивному рыхлению и распылению во всех вариантах, в условиях достаточной влажности идет процесс минерализации растительных остатков в большей степени, чем в нижележащих слоях. Исключение составил, как мы отмечали, слой 10—20 см на делянке с отвальной обработкой, где процессы минерализации органики идут весьма интенсивно.

Для выяснения влияния видов обработки почвы на рост и развитие корней растений измеряли длину корней послойно в каждых 10 см почвы. После отмывки их образцов (почвенных монолитов) и отделения от фракции растительных остатков живых корней определяли их объем. В камеральных условиях на поперечных срезах замеряли средний диаметр корня для образца из того или иного 10-сантиметрового слоя почвы. Ввиду того, что при подобных расчетах трудно установить точное соотношение в образце корней первых и последних порядков ветвления, полученные величины оказались не вполне реальными, а именно, средний диаметр корня, очевидно, несколько завышен, а длина их, следовательно, занижена.

Длина корней была рассчитана по формуле $L = V/\pi r^2$, где — r — средний радиус корней образца, V — объем корней. При использовании этой формулы есть еще одно допущение, что корни принимаются за правильные цилиндры.

Обработка почвы существенного влияния на общую длину корней не оказала (табл. 34). На делянке с отвальной обработкой в слое 0—100 см на площади 1 м² длина корней равнялась 5,766 км, при минимальной и плоскорезной — 5,188 и 5,693 км соответственно. Однако на делянке с отвальной обработкой в пахотном слое находится 92 % длины корней, в слое 0—50 см — 98,8 %; при минимальной в слое 0—20 см — 89 %, 0—50 см —

98,6 %; при безотвальной в слое 0—20 см — 86,4 %, 0—50 см — 97,9 %.

Итак, проведенными исследованиями установлена зависимость развития корневой системы от вида обработки почвы, причем наиболее ярко она проявляется в слоях 0—10 и 10—20 см. Минимализация обработки способствует наибольшему развитию корней в слое 0—10 см. Система обработки почвы должна способствовать не только процессам накопления растительных тканей, но и их минерализации и высвобождению питательных элементов для растений.

Интенсивность разложения растительных остатков в зависимости от степени гумусированности почвы

Разложение растительных остатков — сложный процесс, включающий как минерализацию, так и гумификацию. Интенсивность разложения растительного материала определяется рядом факторов: качеством и количеством растительных остатков, поступивших в почву; активностью микробиоценоза, которая зависит от гидротермических условий и наличия различных активных веществ, контролирующих функционирование микробных ассоциаций [18]; интенсивностью антропогенной нагрузки. Степень распада органического вещества меняется по почвенному профилю: максимальной напряженностью процесса характеризуются ферментативный и гумусовый подгоризонты лесных почв, а также пахотный слой почв агроценозов [120].

Зональные закономерности трансформации основных фракций опада в почвах естественных экосистем и послеуборочных остатков в пахотных почвах агроэкосистем довольно подробно освещены в литературе [10, 18, 116, 117, 159, 184, 197, 198], тогда как регионально-экологическую характеристику этого процесса нельзя считать полной. Особую практическую значимость имеет оценка скорости трансформации послеуборочных остатков районированных культур, поскольку такие данные необходимы при определении гумусного состояния пахотных почв и составлении рекомендаций по его оптимизации. Для агроэкосистем Среднего Урала отсутствует характеристика процесса разложения пожнивно-корневых остатков возделываемых культур в разных экологических условиях.

Поскольку процессы разложения свежих растительных остатков и формирование гумусовых веществ в почве носят сложный ферментативный характер и протекают при непосредственном участии микроорганизмов, то предполагается, что интенсивность процессов трансформации органики неодинакова в почвах, различающихся по биогенности [28].

Отмеченная закономерность находится в соответствии с концепцией Е. Н. Мишустина [177] о возрастании биогенности почв

и усилении интенсивности минерализационного процесса в направлении с севера на юг. Установлено, что серые лесные почвы характеризуются максимальной годовой скоростью деструкции опада — 43—100 % [120].

В литературе отмечается [119, 177, 178, 197, 198], что биогенность пахотных почв находится в прямой зависимости от степени их окультуренности, которая в свою очередь обусловливается содержанием и запасами гумусовых веществ. Окультуривание почв, связанное с обогащением их органическим веществом, усиливает размножение азотфиксирующих организмов, целлюлозоразлагающих бактерий, а внесение навоза, в частности, стимулирует активность бактерий, разлагающих клетчатку [178]. Большая численность этих групп микроорганизмов свидетельствует о их высокой потенциальной способности к разложению растительных остатков. В почвах агроэкосистем, подвергающихся периодическим механическим обработкам, минерализация растительных остатков протекает во всей толще пахотного горизонта, хотя интенсивность ее на разных глубинах, по мнению В. Н. Переверзева [197], неодинакова. Авторы коллективной монографии «Агроценозы степной зоны» [5] отмечают, что нет достоверных различий в скорости разложения растительного материала в почве при различных видах ее механической обработки.

На основании этого предполагается, что интенсивность разложения пожнивно-корневых остатков на агрофонах опытного поля совхоза должна быть неодинаковой. Наиболее достоверные данные о разложении растительных остатков в почве можно получить путем постановки специальных опытов, в которых определенная навеска растительного материала помещается на некоторую глубину в почву с таким расчетом, чтобы по истечении периода экспозиции можно было учесть массу оставшегося после разложения образца.

Суть нашего опыта, проведенного с 1984 по 1987 г., состояла в следующем: свежие послеуборочные остатки ячменя (стерню и корни) без дополнительного измельчения помещали в пакеты из капроновой ткани, навеска — 20 г в пересчете на абсолютно сухое вещество. Образцы были помещены в пахотный горизонт на глубину 15—17 см, т. е. в ту часть горизонта, где обычно при отвальной обработке сосредотачивается основная масса пожнивно-корневых остатков. Все пакеты с навесками растительных остатков были заложены в почву 25 августа 1984 г. Выемку их производили в следующие сроки: 25 октября 1984 г., 25 мая и 27 августа 1985 г., 20 мая и 4 октября 1986 г. и 27 августа 1987 г. Максимальная продолжительность экспозиции образцов в почве составила 3 года. В каждый срок пакеты вынимали в трехкратной повторности. Растительные остатки извлекали из пакетов, доводили до абсолютно сухого состояния, взвешивали.

Изменение массы растительных остатков в процессе их раз-

Таблица 35

Изменение массы пожнивно-корневых остатков ячменя в процессе их трансформации на освоенном и плодородном агрофонах опытного поля, % от массы исходного образца

Агрофон	Растительный материал	1984 г.		1985 г.		1986 г.		1987 г.
		VIII	IX	V	VIII	V	X	VIII
Освоенный	Пожнивные остатки	100,0	82,5	66,5	41,5	33,0	12,0	12,5
	Корни	100,0	93,5	73,0	53,5	34,5	21,0	18,5
Плодородный	Пожнивные остатки	100,0	70,0	50,5	29,0	Нет свед.	10,5	9,0
	Корни	100,0	92,0	65,0	40,0	То же	12,5	10,0

Таблица 36

Средние многолетние декадные показатели температуры воздуха и осадков (по данным АГМС пос. Октябрьский)

Месяц	Показатель	Декада			Среднемесячная температура и сумма осадков
		I	II	III	
Январь	1	—16,0	—16,0	—15,9	—15,9
	2	7	6	6	19
Февраль	1	—15,0	14,0	13,0	—14,1
	2	4	5	6	15
Март	1	—11,5	—8,3	4,2	—8,0
	2	5	7	8	20
Апрель	1	—0,5	2,3	4,8	2,2
	2	6	7	10	23
Май	1	7,3	9,8	12,3	9,8
	2	14	18	22	55
Июнь	1	14,2	15,4	16,5	15,4
	2	20	24	25	69
Июль	1	17,1	17,1	17,1	17,1
	2	26	29	29	84
Август	1	16,1	15,0	13,6	14,9
	2	26	26	24	76
Сентябрь	1	11,4	9,0	6,6	9,0
	2	28	15	14	47
Октябрь	1	4,0	1,2	—1,6	1,2
	2	13	11	11	35
Ноябрь	1	—4,3	—7,2	—10,1	—7,2
	2	10	10	8	28
Декабрь	1	—12,1	—14,3	—14,9	—13,6
	2	9	9	8	26

Примечание. 1 — температура, °С; 2 — осадки, мм.

ложения показано в табл. 35. В первый же срок выемки пакетов, т. е. через 2 мес. после их помещения в почву, обнаружена существенная потеря массы образцов (8—30 %), причем наиболее интенсивно разлагались надземные органы растений (стерневые остатки). Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой интенсивности процессов трансформации пожнивно-корневых остатков в сентябре — октябре, которые обычно характеризуются благоприятными гидротермическими условиями. В сентябре довольно высокая для осеннего периода среднемесячная температура воздуха (9,0 °С, причем в первую декаду она даже превышает 10 °С), выпадает значительное количество осадков (47 мм). Среднемесячная температура воздуха в октябре 1,2 °С, и только в третью декаду этого месяца температура воздуха опускается ниже нулевой отметки (табл. 36).

Можно полагать, что растительные остатки, попадающие в почву в конце вегетационного периода, активно подвергаются процессам минерализации и гумификации. Поэтому чем позже растительные остатки поступают в почву, тем в меньшей степени они могут минерализоваться в оставшееся до промерзания почвы время. Полученные В. Н. Переверзевым и Н. С. Алексеевой [198] данные также свидетельствуют о достаточно высокой даже в условиях Крайнего Севера интенсивности процессов превращения растительных остатков в почве в осеннее время. Уже через неделю после помещения в почву примерно 1/3 надземных растительных остатков подверглась разложению, а корни за это время потеряли около 6 % массы.

В весенний период после оттаивания почвы разложение их возобновилось, и к концу мая они потеряли от 27 до 50 % массы. К концу вегетационного периода на освоенном агрофоне потеря в массе пожнивными остатками и корнями составила 59 и 47 %, а на плодородном — соответственно 79 и 60 %.

Таким образом, в течение первого года с момента попадания растительных остатков в почву разлагается их большая часть, а в дальнейшем интенсивность процессов трансформации растительного материала понижается. На второй год с момента закладки опыта на освоенном агрофоне пожнивные остатки потеряли 29,5 % массы, а корни — 32,5 %, на плодородном агрофоне эти величины составили соответственно 28,5 и 17,5 %.

Через 3 года после постановки опыта потеря массы образцов пожнивно-корневых остатков в почве опытного поля составила 81—90 %. На протяжении всего периода экспозиции растительных образцов наблюдались различия в интенсивности процессов разложения надземных и подземных органов растений. Так, за 2 года на освоенном агрофоне потери в массе образцов стерни ячменя составили 88 %, а корней — только 79 %, на плодородном соответственно 89,5 и 87 %. Далее отметим, что процессы трансформации послеуборочных остатков на плодородном агрофоне шли интенсивнее, чем на освоенном, и большее количество

растительных остатков минерализовалось здесь до конечных продуктов.

Для оценки интенсивности трансформации растительных остатков в почвах естественных экосистем принято использовать подстилочно-опадный коэффициент [214]. Он равен в южнотаежных сосняках, ельниках и березняках соответственно, 20, 10 и 7. На основе сопоставления полученных нами данных о скорости трансформации растительных остатков в пахотных серых лесных почвах, их целинных аналогах и имеющихся в литературе [264] можно сделать вывод, что интенсивность процессов разложения остатков растительности в 2,5—3,0 раза выше в почвах агросистем. Причем разложение органики протекает интенсивнее в тех пахотных почвах, которые имеют более высокий уровень плодородия. Достаточно отчетливо выявляется общая для обоих агрофонов закономерность: более интенсивно разлагались стерневые остатки и менее — корни. Этот факт связан с особенностями анатомического строения корней и стерни (соломины) зерновых злаков, а именно, с развитием в них механических и проводящих тканей.

5.2. СОДЕРЖАНИЕ, ЗАПАСЫ ГУМУСА И АЗОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Общее содержание, запасы гумуса и его обогащенность азотом могут существенно варьировать как в пахотном слое, так и в почвенном профиле в целом и зависят от степени окультуренности этих почв.

Проведенное нами исследование [170, 263, 264] почв опытного поля совхоза показало, что гумусное состояние пашни зависит от механической обработки (отвальной, безотвальной, минимальной). Выяснилось, что при отвальной вспашке пахотный горизонт характеризуется наибольшей однородностью как в горизонтальном, так и в вертикальном плане по показателям гумусного состояния.

На освоенном агрофоне, где органические удобрения не вносились длительный период, в пахотном горизонте делянок с отвальной обработкой почвы отмечается низкое содержание гумуса (2,60—2,82 %). Внесение в почву двух других агрофонов высоких доз органических удобрений способствовало уже на следующий год некоторому повышению содержания гумуса в обрабатываемом слое за счет готовых гумусовых веществ, находящихся в торфе и торфопометном компосте. Однако пропорционального дозе внесенных органических удобрений увеличения содержания и запасов гумуса на улучшенном и плодородном агрофонах не произошло. Этот факт можно объяснить тем, что торф (вносился в чистом виде на улучшенном агрофоне, а на плодородном дополнительно еще и торфопометный компост) содержит лишь некоторое количество гумифицирован-

Таблица 37

Запасы углерода предгумусовой фракции в почве опытного поля, т/га

Слой почвы, см	Агрофон		
	Освоенный	Улучшенный	Плодородный
0—20	8,84	15,60	29,86
0—50	11,73	18,30	33,25
0—100	11,82	18,62	33,41

ных материалов и в основной массе состоит из лигнинно-целлюлозного комплекса, обедненного белковым азотом [10], в связи с чем его дальнейшая гумификация в почве протекает довольно медленно. Кроме того, при подготовке образцов на анализ из них были удалены все неразложившиеся комочки торфа.

Заметим, что одноразовое внесение высоких доз органических удобрений (независимо от их качества) существенно повышает потенциальную способность почв к гумусообразованию. В результате на улучшенном агрофоне в пахотном горизонте (делянки с отвальной обработкой почвы) содержание углерода предгумусовой фракции возросло по сравнению с освоенным в слое 0—10 см в 2,6 раза, в слое 10—20 см — в 1,3 раза, а на плодородном — в 3,3 и 2,8 раза соответственно. Запасы углерода предгумусовой фракции возросли в пахотном горизонте пропорционально дозе заделанной в почву органики и составили в слое 0—20 см освоенного агрофона 8,84 т/га, улучшенного — 15,60 и плодородного — 29,86 т/га. В итоге запасы углерода этой фракции в метровой толще плодородного агрофона превысили таковые освоенного фона в 2,8 раза (табл. 37).

Содержание гумуса в пахотном горизонте на делянках с отвальной обработкой плодородного агрофона возросло лишь до среднего (по системе показателей гумусного состояния почв Л. А. Гришиной и Д. С. Орлова [56]) и составило в слое 0—10 см 4,80±0,162 %, 10—20 см — 4,74±0,235 %. На улучшенном агрофоне содержание гумуса в А пах не превысило 4 % и составило в указанных слоях 3,63±0,064 и 3,75±0,230 % соответственно. Отметим, что при названной обработке почвы органика довольно равномерно размещается по всей толще пахотного слоя и очень резких различий, как уже отмечалось, между отдельными слоями А пах в содержании гумуса не обнаружено.

На делянках с плоскорезной и минимальной обработками почвы на всех трех агрофонах отмечена вертикальная дифференциация А пах по содержанию гумуса. Выделяется верхняя часть А пах (0—10 см), для которой характерно более высокое содержание гумуса, чем в нижележащей 10-сантиметровой (10—20 см) части обрабатываемого слоя. Анализ показал существо-

Таблица 38

Результаты статистической обработки данных о содержании гумуса в отдельных слоях А пах при различной механической обработке почвы

Агрофон, обработка почвы	Глубина образца, см	Статистические показатели					Оценка существенности средней разности сопряженных выборок по t-критерию			
		$\bar{x}$	S	C_v	$S_{\bar{x}}$	P	$t_{факт}$	Существенность различий по уровням		
								5%-й	1%-й	0,1%-й
Освоенный, безотвальная	0—10	3,01	0,991	32,89	0,313	10,4	2,60	+	—	—
	10—20	2,20	0,386	17,50	0,132	5,9				
Освоенный, минимальная	0—10	2,59	0,429	16,59	0,136	5,3	5,65	+	+	+
	10—20	1,94	0,701	36,22	0,222	11,4				
Улучшенный, безотвальная	0—10	5,84	0,486	8,33	0,154	2,6	4,21	+	+	—
	10—20	4,86	0,752	15,46	0,238	4,9				
Улучшенный, минимальная	0—10	6,66	0,881	13,22	0,278	4,2	3,85	+	+	—
	10—20	5,08	0,872	17,16	0,276	5,4				
Плодородный, безотвальная	0—10	4,70	0,504	10,72	0,158	3,4	1,34	—	—	—
	10—20	4,37	0,655	14,97	0,207	4,7				
Плодородный, минимальная	0—10	6,96	1,759	25,27	0,556	8,0	8,19	+	+	+
	10—20	3,32	1,022	30,81	0,323	9,7				

Примечание. Число сопряженных пар (n) во всех вариантах опыта 11; $\nu = n - 1 = 10$. Значения t-критерия на 5-, 1- и 0,1 %-м уровнях значимости при $\nu = 10$ — 2,23; 3,17; 4,59.

вание на 0,95 %-м уровне значимости статистически достоверных различий в содержании гумуса по слоям 0—10 и 10—20 см при указанных обработках и агрофонах (табл. 38).

На освоенном агрофоне при безотвальной обработке содержание гумуса в упомянутых слоях составило 3,01±0,313 и 2,20±0,132 %, при минимальной — 2,59±0,136 и 1,94±0,222 %, а на улучшенном соответственно 5,84±0,154 и 4,86±0,238 % при безотвальной и 6,66±0,278 и 5,08±0,276 % при минимальной обработке. Аналогичные статистически достоверные различия в содержании гумуса по указанным слоям на плодородном фоне были отмечены только при минимальной обработке (см. табл. 38).

Начиная с глубины 25—40 см содержание гумуса на всех трех агрофонах вне зависимости от обработки почвы уменьшается в 2,0—2,5 раза и более по сравнению с пахотным горизонтом. В иллювиальной толще почвенного профиля на глубине 60—90 см отмечается некоторое (на 0,10—0,20 %, а иногда и более) увеличение его содержания. Иллювилирование гумуса подтверждается и морфологическими особенностями этих почв. Как уже отмечалось, для горизонта В характерным морфологическим признаком является наличие на гранях структурных отдельностей глянцевых пленочек («гумусовый глянец», или, по терминологии В. В. Пономаревой, Т. А. Плотниковой [209], «гумусовые зеркала»).

В горизонте С почв опытного поля содержание гумуса не превышает 0,10—0,20 %. На такую значительную глубину он, очевидно, проникает с водными растворами. В целом профильное распределение гумуса в минеральной толще почв опытного поля (независимо от агрофона) носит характер резко убывающего, но более плавного, чем в почвах лесных экосистем.

Запасы гумуса в пахотном горизонте на делянках с отвальной вспашкой освоенного агрофона составили 85,52 т/га, а на улучшенном и плодородном — 85,34 и 101,10 т/га соответственно. В метровой толще почвы плодородного агрофона они оказались равными 221,43 т/га, в то время как на освоенном — 214,60 т/га. Заметим, что на улучшенном и плодородном агрофонах запасы гумуса в слое 0—20 см на делянках с плоскорезной и минимальной обработками оказались выше, чем при отвальной вспашке. В целом запасы гумуса в слоях 0—20 и 0—100 см на освоенном агрофоне довольно низкие, а в результате разового внесения высоких доз органических удобрений они возросли до средних (табл. 39).

Водорастворимые органические вещества накапливаются в основном в пахотном горизонте (0,07—0,08 %), далее вниз по профилю их содержание уменьшается, а в иллювиальном горизонте вновь наблюдается некоторое увеличение (до 0,05—0,06 %). Наибольшей мобильностью характеризуется органическое вещество в пахотном горизонте почв освоенного агрофона,

Таблица 39

Запасы гумуса (в числителе) и азота (в знаменателе) в почве на разных агрофонах опытного поля, т/га

Обработка почвы	Слой почвы, см	Освоенный	Улучшенный	Плодородный
Отвальная	0—20	85,52/6,18	85,34/6,81	101,10/6,70
	0—50	158,96/18,13	141,08/16,47	166,90/16,16
	0—100	214,60/Нет свед.	206,16/Нет свед.	221,43/Нет свед.
Плоскорезная	0—20	69,20/11,93	115,76/8,21	128,93/10,57
	0—50	119,36/11,64	164,82/15,04	204,29/20,45
	0—100	161,89/Нет свед.	195,14/Нет свед.	236,34/Нет свед.
Минимальная	0—20	65,88/5,11	97,89/10,04	113,05/11,27
	0—50	99,18/14,72	147,00/16,32	147,77/19,67
	0—100	140,38/Нет свед.	192,10/Нет свед.	200,06/Нет свед.

а наименьшей — на плодородном [258]. Эти данные согласуются с имеющимися в литературе [42] и подтверждают мнение, что под влиянием окультуривания почвы ее органическое вещество превращается в менее подвижные формы, становясь более устойчивым к разрушению и вымыванию.

Обогащенность гумуса азотом изменяется по генетическим горизонтам и в зависимости от количества и качества внесенной органики: в пахотном горизонте освоенного агрофона она высокая, на улучшенном варьирует от высокой до средней и на плодородном — низкая. В подпахотных горизонтах на всех трех агрофонах обогащенность гумуса азотом становится очень высокой.

Запасы азота в пахотном горизонте при отвальной обработке на всех агрофонах оказались примерно одинаковыми и составили на освоенном — 6,18 т/га, улучшенном и плодородном — 6,81 и 6,70 т/га соответственно. В слое 0—50 см его запасы соответственно равны 18,13; 16,47 и 16,16 т/га. Таким образом, рассматриваемые показатели определяются качеством органики, поступающей в почву.

Различия в содержании и запасах гумуса и азота в отдельных слоях и в целом в А пах обусловлены особенностями размещения и заделки в почву пожнивно-корневых остатков. Так, при плоскорезной и минимальной обработках не удается глубоко в почву заделать органику и она концентрируется в верхней части обрабатываемого слоя, быстро минерализуясь. При отвальной вспашке органические удобрения довольно равномерно распределяются в толще пахотного горизонта и потому резких различий в содержании гумуса между отдельными его слоями не наблюдается.

Рассмотренные данные о влиянии механической обработки почвы на ее гумусное состояние согласуются с литературными [7, 28, 121, 186, 246], где отмечается, что применение в севообороте различных по оборачиванию пласта и перемешиванию обработок почвы глубоко изменяет процессы гумусообразования. Так, минимальные обработки и безотвальное рыхление почвы увеличивают коэффициент гумификации органических остатков на 12—28 %, в результате чего наблюдается тенденция к возрастанию содержания гумуса в верхней части обрабатываемого слоя [246]. При длительном применении плоскорезов — глубокорыхлителей для обработки почвы (безотвальная обработка) — в верхней части А пах возрастает численность микроорганизмов, стимулируется активность ряда ферментов, следствием чего является увеличение содержания гумуса в обрабатываемом слое [7]. По другим данным [28], уменьшение глубины обработки до 8—10 см по сравнению с отвальной вспашкой усиливает процессы накопления гумуса в пахотном слое и его минерализацию в слое 20—40 см. По сведениям Л. Н. Никифоренко [186], применение безотвальной обработки на серой оподзоленной почве привело к снижению содержания гумуса по сравнению с исходным на 0,15—0,42 % в слоях 15—20 и 20—30 см, уменьшилось и содержание лабильных форм гумуса, расширилось отношение C : N.

На основании собственных и имеющихся в литературе данных можно высказать сомнение в целесообразности систематического проведения поверхностных обработок, так как при этом в условиях промывного водного режима почвы возможно усиление оподзоливания в нижней части А пах. В то же время поверхностная заделка органических удобрений в почву (плоскорезная и минимальная обработки) малоэффективна для накопления гумуса по той причине, что в условиях повышенной аэрации идет интенсивная минерализация органических веществ. Значительное улучшение гумусного состояния почв при внесении доз органики может быть достигнуто при условии качественной заделки органических удобрений под отвальную вспашку и применения в последующие годы минимальной или безотвальной обработки (не более 2—3 лет подряд).

5.3. ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА ПАХОТНОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

В многочисленных публикациях показано влияние минеральных, органических удобрений и извести на фракционно-групповой состав гумуса пахотных почв [10, 49, 93, 139, 143, 203, 291]. О роли механической обработки почвы в качественном составе гумусовых веществ мнения противоречивы. Одни [28] считают, что обработка почвы существенно влияет на гумусообразование, другие [180] — что она практически не отражается на

групповом и фракционном составе гумуса. На примере почв опытного поля совхоза «Бородулинский» была предпринята попытка выяснить этот вопрос.

На освоенном агрофоне растительные остатки являются единственным источником пополнения запасов органического вещества в почве, поскольку органические удобрения здесь не вносились. В этом случае, как показали наши исследования (табл. 40), верхняя часть гумусового профиля (в основном А пах) характеризуется значительным преобладанием в составе гумуса ГК, а в подпахотных — ФК (см. табл. 40). Тип гумуса в пределах пахотного горизонта фульватно-гуматный, а в нижележащих слоях он изменяется от гуматно-фульватного до фульватного. При отвальной обработке в горизонте А пах наблюдается некоторое увеличение доли ГК в средней его части. Отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ изменяется от 1,59 в слое 0—5 см до 1,64 и 1,89 в слоях 5—10 и 10—15 см соответственно. На глубинах 15—20 и 20—28 см происходит незначительное уменьшение этого показателя до 1,61 и 1,39 соответственно.

При двух других обработках картина несколько иная: в А пах от верхних слоев к нижним происходит постепенное и заметное увеличение доли ГК в составе гумуса. Этот процесс наиболее ярко выражен на делянке с минимальной обработкой. Следует отметить, что это происходит на фоне уменьшения общего содержания углерода от верхних слоев А пах к нижним.

В составе ГК в А пах при отвальной обработке наибольший удельный вес принадлежит фракции 2, связанной с кальцием (60—70 %). По мере минимализации обработки доля ГК фракции 2 в составе ГК уменьшается и возрастает относительное количество ГК фракции 3, связанной с глинистой фракцией и устойчивыми полуторными оксидами (см. табл. 40).

В распределении в пахотном горизонте ГК фракции 1, связанных с подвижными полуторными оксидами, наблюдается следующая картина: при отвальной обработке содержание «свободных» ГК во всем пахотном горизонте очень низкое и не превышает 20% от общей суммы ГК, при безотвальной — очень низкое и только в слое 5—10 см — низкое (28,5 %), а при минимальной в слое 0—8 см — низкое (32,6 %), в остальной части А пах — очень низкое.

Интересную с агрономической точки зрения информацию дает соотношение в пахотном горизонте фракций ГК 1 и 2, поскольку именно эти две фракции ГК во многом определяют почвенное плодородие. Наибольшие величины отношения $C_{ГК_2}$ к $C_{ГК_1}$ отмечены при отвальной обработке (3,2—5,4).

Известно, что в пахотных почвах содержится некоторое количество (в А пах 12—16 ц/га) полуразложившихся частично гумифицированных растительных остатков, но оно меньше, чем в целинных почвах. Поэтому неудивительно, что в пахотном горизонте на освоенном агрофоне содержание негидролизуемого

Таблица 40

Фракционно-групповой состав гумуса почв освоенного агрофона при разных

Горизонт	Глубина, см	$C_{общ}$ в почве, %	Фракция гуминовых кислот			
			1	2	3	Сумма
				Разрез 3, отвальная		
А пах	0—5	1,59	6,7	32,1	8,5	47,3
	5—10	1,53	6,7	31,5	7,5	45,7
	10—15	1,69	5,8	31,4	7,2	44,4
	15—20	1,58	6,9	21,1	9,1	47,1
	20—28	1,47	8,2	26,1	8,2	42,4
В1	28—40	0,68	1,7	16,8	5,5	24,0
	40—50	0,61	1,6	3,3	1,6	6,5
	50—62	0,48	2,1	8,3	4,2	14,6
В2	62—70	0,38	2,6	7,9	7,9	18,4
	70—80	0,37	2,7	8,1	8,1	18,9
	80—90	0,36	2,8	8,3	8,4	19,4
	90—100	0,36	2,8	8,3	5,6	16,7
				Разрез 5, безотвальная		
А пах	0—5	1,57	5,7	12,1	13,3	31,1
	5—10	1,40	11,4	14,3	14,3	40,0
	10—15	1,99	4,5	17,1	8,5	30,1
	15—23	1,15	7,8	21,7	9,6	39,1
А2В	23—33	0,75	1,3	16,0	6,7	24,0
	33—41	0,50	4,0	8,0	6,0	18,0
В1	41—51	0,35	2,9	5,8	5,8	14,5
В2	75—100	0,23	4,3	4,3	4,3	12,9
				Разрез 10, минимальная		
А пах	0—8	1,85	9,7	8,6	11,4	29,7
	8—15	1,53	7,8	18,3	13,1	39,2
	15—20	0,69	7,2	26,1	20,3	53,6
А2В1	20—30	0,44	2,3	4,5	6,8	13,6
В1	40—50	0,33	3,0	9,1	9,1	21,2
В2	70—80	0,27	0,0	14,8	0,0	14,8

способах обработки, % к общему С почвы

Фракция фульвокислот					Сумма растворимых веществ	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$
1а	1	2	3	Сумма			
обработка							
6,4	4,2	12,4	6,7	29,7	77,7	23,0	1,59
5,5	5,6	11,2	5,4	27,3	73,4	26,6	1,64
6,6	5,6	7,4	3,9	23,5	67,9	32,1	1,89
7,1	4,8	13,1	4,2	29,2	76,3	23,7	1,67
7,1	6,1	12,8	4,4	30,4	72,8	27,2	1,39
16,3	0,7	13,6	8,2	38,8	62,8	37,2	0,62
11,5	3,3	1,6	4,9	21,3	32,8	67,2	0,54
12,5	0,0	10,4	6,3	29,2	43,8	56,2	0,50
15,8	2,6	15,8	5,2	39,4	57,8	42,2	0,47
10,8	2,7	21,6	2,7	37,8	56,7	43,3	0,50
8,3	2,8	16,6	2,8	30,5	49,9	50,1	0,64
2,8	5,6	8,3	5,6	22,3	39,0	60,0	0,74
обработка							
7,6	7,6	13,3	0,6	29,1	60,2	39,8	1,07
10,7	2,1	19,3	0,7	32,8	72,8	27,2	1,22
6,5	7,0	8,5	2,5	24,5	54,6	45,4	1,22
8,7	7,8	9,6	3,5	29,6	68,7	31,3	1,32
9,3	1,3	14,7	1,3	26,6	50,6	49,4	0,90
6,0	10,0	14,0	2,0	32,0	50,0	50,0	0,56
8,6	8,6	20,0	2,9	40,1	54,6	45,4	0,36
12,9	8,7	39,1	8,7	69,4	82,3	17,7	0,19
обработка							
3,8	8,6	14,6	2,7	29,7	59,4	40,6	1,00
7,2	7,2	19,0	1,3	34,7	73,9	26,1	1,13
10,1	2,9	23,2	2,9	39,1	92,7	7,3	1,37
13,6	6,8	38,6	4,5	63,5	77,1	22,9	0,21
18,2	3,0	30,3	3,0	54,5	75,7	24,3	0,39
11,1	3,7	22,2	7,4	44,4	59,2	40,8	0,33

остатка (гуминов — ГМ) обычно низкое. Различия в величинах отношения $C_{ГК} : C_{ГМ}$ на делянках с различной механической обработкой почвы в отдельных слоях А пах обусловлены концентрацией пожнивно-корневых остатков в том или ином слое, а также неоднородностью этого горизонта по интенсивности развития микробиологических процессов. При отвальной обработке показатель $C_{ГК} : C_{ГМ}$ во всем пахотном горизонте больше 1 (1,4—2,1), а при минимальной в слое 0—8 см, где сосредоточены большая часть корней растений и все пожнивные остатки, он равен 0,7, в нижележащих слоях (8—15 и 15—20 см) это отношение увеличивается до 1,5 и 7,3 соответственно.

Все фракции ФК в А пах составляют небольшую долю от общего углерода. Но все же наибольшее относительное содержание в изученных разрезах освоенного агрофона принадлежит ФК фракции 2.

Ряд исследователей [34] считают необходимым для пахотных почв определить степень агрессивности ФК (как содержание ФК фракции 1а к сумме фульвокислот в процентах). В нашем случае почти во всех разрезах в пределах А пах ФК оказались высоко агрессивными. Исключение составил слой 0—8 см при минимальной обработке, где агрессивность ФК оказалась средней. Подобный факт следует рассматривать как отрицательный, поскольку ФК — основные агенты подзолообразования [209], а их высокая агрессивность свидетельствует о наличии этого процесса в изучаемых почвах.

В подпахотных горизонтах в составе гумуса преобладают ФК, среди которых велик удельный вес «агрессивной» фракции 1а и фракции 2 ФК. Максимум в содержании «агрессивной» фракции обнаруживается в иллювиальном горизонте при отвальной обработке, где она составляет до 40—50% от суммы ФК. Среди ГК в этой части почвенного профиля по-прежнему велика доля ГК, связанных с кальцием. Их содержание в иллювиальной толще на освоенном агрофоне в основном среднее. Наряду с этим среди ГК увеличилась доля прочно связанных ГК (фракции 3). Их содержание в этих горизонтах высокое. Таким образом, практически во всем почвенном профиле на освоенном агрофоне преобладающими формами гумусовых веществ являются кальциевые соли ГК и ФК. Каких-либо различий в характере распределения в подпахотной толще гумусовых веществ нами не обнаружено, т. е. отличие изученных разрезов состоит лишь в их количественных показателях.

Особенности фракционно-группового состава гумуса почвы **улучшенного** агрофона во многом определены разовым внесением в начале опыта большой дозы торфа. Известно, что быстрое изменение состава гумуса под влиянием больших доз органических удобрений обусловлено в основном не интенсификацией процессов гумификации, а спецификой химического состава последних, наличием значительного количества гуминовых

веществ [10, 28]. По данным Л. П. Александровой [10], в составе низинного торфа в среднем содержится до 40—55 % «готовых» гуминовых кислот и 10—18 % веществ типа фульвокислот, в то же время пожнивно-корневые остатки являются только гумусообразователями и содержат лишь постепенно гумифицирующиеся компоненты: белки, углеводы, лигнин. Следует заметить, что содержание последнего компонента довольно высокое в растительных остатках зерновых культур, что и определяет особенности их трансформации.

При отвальной обработке на этом агрофоне в пределах пахотного горизонта тип гумуса гуматный. Среди ГК пахотного горизонта в основном преобладает фракция 2 (табл. 41), количество которой относительно суммы ГК превышает 50 %, т. е. содержание ГК, связанных с Са, среднее. Содержание «свободных» ГК в А пах в основном очень низкое, а прочно связанных — высокое. На наш взгляд, такое соотношение отдельных фракций среди ГК не является оптимальным для пахотного горизонта, ибо доля ГК, доступных микроорганизмам для минерализации, незначительна.

В подпахотных горизонтах преобладают ФК, причем среди них велика доля фракции 1а (>40 %), т. е. ФК высоко агрессивны. Наибольшее относительное содержание ФК фракции 2 (от общего содержания углерода) отмечено в иллювиальном горизонте. В верхней части профиля во фракции 2 преобладают ГК над ФК, а в нижней части — наоборот (см. табл. 41).

При плоскорезной (безотвальной) обработке тип гумуса в пределах А пах фульватно-гуматный. Следует заметить, что в слоях 0—5 и 5—10 см доля ФК увеличивалась наиболее заметно и $C_{ГК}$: $C_{ФК}$ стало составлять 1,10—1,16. Подобное значительное усиление фульватности гумуса в сравнении с отвальной обработкой может быть вызвано подкислением почвы большими дозами минеральных удобрений [271], которые вносились все 3 года в слой 0—10 см.

Среди ГК ведущее положение занимает фракция 2, что характерно для всего профиля, однако содержание этой фракции изменяется от среднего в верхней части пахотного горизонта, высокого — в нижней до максимального в иллювиальной толще (>90 % от суммы ГК). Такое распределение ГК фракции 2 обусловлено тем, что несколько усредненные «кислые» гуматы кальция вымываются из А пах и мигрируют вниз по профилю.

Профиль рассматриваемых почв характеризуется низким содержанием «свободных» ГК в А пах и очень низким — в иллювиальном горизонте. В пределах пахотного горизонта максимум относительного содержания ГК фракции 1 отмечен в слое 0—5 см (32% от суммы ГК), несколько меньшее (около 27%) оно в слое 5—10 см, т. е. в той толще почвы, куда была заделана основная масса органических удобрений.

Для распределения ГК, прочно связанных с глинистой

Таблица 41

Фракционно-групповой состав гумуса почв улучшенного агрофона при разных

Горизонт	Глубина, см	$C_{общ}$ в почве, %	Фракция гуминовых кислот			
			1	2	3	Сумма
				Разрез 1, отвальная		
А пах	0—5	2,7	9,3	12,8	11,4	33,5
	5—10	2,4	8,0	18,1	15,8	41,9
	10—15	2,4	5,6	27,9	16,1	49,6
	15—20	2,2	5,0	26,2	15,1	46,3
	20—25	2,0	5,9	29,7	17,3	52,9
А1	25—28	1,4	3,3	29,0	6,5	38,8
	30—50	1,3	4,0	30,4	10,8	45,2
В1	50—60	0,2	2,7	11,0	6,9	20,6
	60—67	0,2	3,4	11,9	5,2	20,5
В1В2	67—75	0,3	2,2	10,8	5,3	18,3
	75—83	0,3	1,6	10,9	5,9	18,4
В2	83—90	0,4	1,5	15,3	5,3	22,1
				Разрез 8, безотвальная		
А пах	0—5	3,14	9,8	13,6	7,1	30,5
	5—10	3,26	9,8	14,8	11,9	36,5
	10—15	2,55	8,2	27,3	6,9	42,4
	15—20	2,06	10,2	26,2	4,5	40,9
А1А2	20—26	2,07	12,2	22,9	5,9	40,8
А2В	26—38	0,77	2,5	19,4	5,8	27,7
В1	26—40	0,33	2,2	16,9	6,6	25,7
	40—50	0,25	0,7	16,3	0,6	17,6
				Разрез 9, минимальная		
А пах	0—5	3,56	16,6	12,4	13,7	42,7
	5—10	4,34	8,0	12,7	12,9	33,6
	10—15	2,21	12,9	19,7	15,6	48,2
	15—20	2,33	13,2	23,2	13,7	50,2
	20—30	2,07	13,5	20,3	9,7	43,5
В1	30—40	0,46	5,6	12,4	8,5	26,5
	40—50	0,33	5,7	10,7	7,9	24,3

способах обработки, % к общему С почвы

Фракция фульвокислот					Сумма растворимых веществ	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$
1а	1	2	3	Сумма			
обработка							
4,6	2,0	12,3	2,6	21,5	55,5	45,0	1,56
5,9	2,9	11,2	0,8	20,6	62,5	37,6	2,02
6,5	4,5	11,4	0,5	22,9	72,4	27,6	2,17
5,6	5,6	6,6	0,4	18,2	61,5	35,5	2,56
6,7	5,1	10,9	1,0	23,7	76,6	23,4	2,23
8,9	3,0	12,0	2,5	26,4	65,2	34,8	1,47
9,8	3,3	8,5	0,5	22,1	67,3	32,7	2,03
15,4	1,0	15,8	2,8	35,0	55,6	44,4	0,99
16,2	1,2	16,8	5,0	39,2	59,7	40,3	0,52
16,3	1,0	17,5	3,2	37,8	56,1	43,9	0,48
17,8	1,2	17,9	1,2	38,1	56,5	43,6	0,49
16,3	0,2	18,0	4,2	38,7	60,8	39,2	0,57
обработка							
6,2	14,7	4,6	2,2	27,7	58,2	41,8	1,10
5,5	12,8	10,7	2,4	31,4	67,9	32,1	1,16
6,8	14,0	4,3	1,2	26,3	68,7	31,3	1,61
7,0	13,2	6,8	1,4	28,4	69,3	30,7	1,44
7,7	13,8	1,2	1,0	29,7	70,5	29,5	1,37
15,2	4,3	18,4	2,6	40,5	68,2	31,8	0,68
21,0	5,2	18,3	4,6	49,1	74,8	25,2	0,52
22,1	3,4	15,3	7,1	47,9	65,5	34,5	0,37
обработка							
4,7	12,5	4,4	3,3	24,9	67,6	32,4	1,71
4,8	12,2	9,2	2,7	28,9	62,5	37,5	1,16
8,9	20,1	2,9	6,7	38,6	68,8	13,2	1,25
8,6	16,3	10,7	2,1	37,7	87,9	12,1	1,33
7,2	21,3	12,5	4,3	45,3	88,8	11,2	0,96
13,1	7,8	20,8	8,5	50,2	76,7	23,3	0,53
17,2	1,4	22,7	13,2	54,5	78,8	21,2	0,45

Таблица 42

Фракционно-групповой состав гумуса почв плодородного агрофона

Горизонт	Глубина, см	$C_{общ}$ в почве, %	Фракция гуминовых кислот			
			1	2	3	Сумма
			Разрез 2, отвальная			
А пах	0—5	2,22	11,1	22,5	11,3	44,9
	5—10	2,31	9,7	24,2	14,1	48,0
	10—15	2,20	7,6	25,1	9,6	42,8
	15—22	2,28	7,3	20,7	9,8	37,8
	22—30	1,60	6,2	32,6	9,8	48,6
B1	30—40	0,46	2,4	1,1	4,3	7,8
	40—50	0,38	3,7	0,6	3,4	7,7
B1B2	50—60	0,34	2,6	1,2	3,0	6,8
	60—70	0,34	2,6	7,5	4,5	14,6
B2	70—80	0,40	2,2	4,3	3,9	10,4
	80—90	0,40	2,7	3,7	3,8	10,2
	90—103	0,42	1,6	6,6	4,9	13,1
			Разрез 6, безотвальная			
А пах	0—20	2,56	8,8	15,8	21,9	46,5
	20—25	1,49	7,5	16,4	19,8	43,7
A2B1	22—28	0,59	2,5	14,4	6,8	23,7
B1	30—40	0,65	1,8	9,0	6,1	16,9
	40—50	0,34	2,0	6,8	11,8	20,6
B2	50—70	0,38	2,1	8,4	5,3	15,8
	70—80	0,29	2,8	11,3	13,9	28,0
			Разрез 7, минимальная			
А пах	0—5	3,75	8,4	20,4	13,0	41,8
	5—10	4,65	6,0	10,9	7,8	24,7
	10—15	2,49	5,1	9,1	12,0	26,2
	15—20	1,04	2,5	17,0	8,5	28,0
B1	20—30	0,55	1,7	11,6	4,9	18,2
	30—40	0,32	1,6	6,9	5,6	14,1
	40—50	0,30	1,8	4,9	5,2	11,9

при разных способах обработки, % к $C_{общ}$ почвы

Фракция фульвокислот					Сумма растворимых веществ	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$
1а	1	2	3	Сумма			
обработка							
4,6	3,6	8,4	2,1	18,7	63,6	36,4	2,40
5,0	4,9	6,7	0,9	17,5	65,5	34,5	2,74
5,2	4,3	6,9	2,2	18,6	60,9	39,1	2,27
5,0	4,9	8,0	1,2	19,1	56,9	43,1	1,98
6,9	3,7	9,7	0,5	20,8	69,4	30,6	2,34
11,2	3,3	15,0	3,7	33,2	41,0	59,0	0,23
12,1	2,0	21,5	2,4	38,0	45,7	54,3	0,20
11,7	1,2	19,2	4,6	36,7	43,3	56,7	0,18
11,7	1,9	12,9	1,6	28,1	42,7	57,3	0,52
10,1	1,7	19,3	4,7	35,8	46,2	53,8	0,29
10,0	0,4	20,3	4,6	35,3	45,5	54,5	0,29
9,6	0,3	15,5	3,2	28,6	41,7	58,3	0,46
обработка							
4,6	5,3	8,2	4,7	22,8	69,3	30,7	2,04
6,1	4,6	14,1	4,6	29,4	73,1	26,9	1,49
10,0	4,9	1,2	0,4	16,5	40,2	59,8	1,44
15.0	1,7	15,2	4,6	36,5	53,4	46,6	0,46
23,4	1,4	22,1	2,9	49,8	70,4	29,6	0,41
18,5	0,4	12,7	2,6	34,2	50,0	50,0	0,46
19,1	4,1	14,3	17,0	54,5	82,5	17,5	0,51
обработка							
4,3	0,8	3,9	5,0	14,0	55,8	44,2	2,98
3,1	3,7	10,1	2,3	19,2	43,9	56,1	1,29
6,0	5,3	7,2	0,8	19,3	45,5	54,5	1,34
8,4	3,8	6,8	0,9	19,9	47,9	52,1	1,41
14,2	0,3	7,2	2,4	21,4	39,6	60,4	0,85
16,2	3,1	15,1	2,1	36,5	52,7	47,3	0,44
21,4	0,8	21,4	1,2	44,8	56,7	43,3	0,27

фракцией и устойчивыми полуторными оксидами (фракция 3), характерно высокое содержание их в верхней части А пах (32—23%) и среднее (11—16%) — в нижней; в подпахотных слоях вновь наблюдается относительное увеличение содержания этой фракции до высокого уровня (см. табл. 41).

В той части пахотного горизонта, куда были заделаны органические удобрения, отмечено и преобладание негидролизуемого остатка над ГК: в слое 0—5 см отношение $C_{ГК}:C_{ГМ}=0,7$. По системе градаций показателей гумусного состояния почв содержание ГМ меняется от среднего (в слое 0—5 см) до низкого в остальной части почвенного профиля. Следует отметить, что практически во всем А пах, кроме слоя 0—5 см, ГК преобладают над ГМ и отношение $C_{ГК}:C_{ГМ}$ больше единицы. В иллювиальной толще, как и при отвальной обработке, это отношение меньше единицы.

Среди ФК в пахотном горизонте преобладает фракция 1 при значительном содержании фракции 1а, а в иллювиальной толще существенно возрастает доля фракций 1а и 2.

При минимальной обработке все те особенности профильного распределения отдельных фракций ГК и ФК, которые были отмечены для безотвальной обработки, в основном сохраняются, с тем лишь отличием что в слое 0—5 см горизонта А пах доля ГК в составе гумуса существенно выше, чем в этом же слое при безотвальной обработке.

Рассмотренные данные позволяют сделать вывод о том, что внесение большой дозы торфа (улучшенный агрофон) не привело к качественному сдвигу процессов гумусообразования. Количественные изменения в показателях фракционно-группового состава гумуса в отдельных слоях пахотного горизонта обусловлены в основном особенностями заделки органических удобрений в почву, а также качеством и количеством последних.

На **плодородном агрофоне** особенности фракционно-группового состава гумуса, как было показано выше, определяются тем, что помимо торфа в начале опыта внесена еще и большая доза торфопометного компоста. Увеличение вдвое вносимой дозы органических удобрений, содержащих значительное количество уже готовых ГК, сказалось на типе гумуса. Так, на делянках с отвальной вспашкой тип гумуса во всей толще пахотного слоя изменился до гуматного ($C_{ФК}:C_{ГК}>2$). Аналогичные изменения наблюдаются и при двух других обработках, но только в пределах той части пахотного горизонта, куда были заделаны органические удобрения. В подпахотных слоях тип гумуса остался прежним — фульватным (табл. 42).

На плодородном агрофоне при всех обработках существенных перемен в соотношении отдельных фракций ГК не произошло, т. е. изменения в составе гумуса происходили соответственно дозе внесенных удобрений. В пределах пахотного горизонта при отвальной и плоскорезной обработках ГК преобладают над

негидролизуемым остатком и отношение $C_{ГК} : C_{ГМ}$ в первом случае равно 1,1—1,4, а во втором — 1,5—1,6. При минимальной обработке во всем А пах это отношение больше единицы (см. табл. 42). Распределение ФК в почве плодородного агрофона и соотношение между собой отдельных фракций ГК и ФК сходны с теми, что были отмечены на улучшенном агрофоне при соответствующих обработках почвы.

Таким образом, при одноразовом внесении высоких доз хорошо гумифицированных органических удобрений наблюдается увеличение содержания ГК, расширяется отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$, уменьшается дифференцированность (особенно при отвальной обработке) А пах и гумусового профиля в целом по этому показателю, меньше становится доля агрессивных ФК. Полученные нами данные показывают, что механическая обработка почвы выступает в роли фактора, активно регулирующего гумусное состояние почвы, определяет особенности размещения органических удобрений в А пах и последующую их трансформацию.

ГЛАВА 6

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

В структуре земельного фонда совхоза имеются значительные массивы серых лесных почв, где ежегодно вносится от 12 до 20 т/га органических удобрений, а сельскохозяйственные культуры возделываются по интенсивным технологиям. Последние предполагают наиболее эффективное использование минеральных удобрений за счет дробного внесения с учетом потребностей в них возделываемой культуры в ту или иную фазу ее развития на фоне оптимальной для данных почвенно-экологических условий системы обработки почвы [89, 275].

Отметим постоянный рост в Свердловской области площади посевов зерновых, возделываемых по интенсивной технологии: 1985 г.— 19 тыс. га, 1986 г.— 160, 1987 г.— 320 тыс. га. Средняя урожайность в эти годы по области — 21,5 ц/га, а на полях интенсивной технологии — 29,8 ц/га [89]. Урожайность зерновых культур на таких полях в совхозе «Бородулинский» выше 35 ц/га, и она в меньшей степени, чем при традиционной системе возделывания этих культур, зависит от погодных условий.

Внедрение интенсивной технологии возделывания зерновых сопровождается, по данным Ф. Х. Хазиева [275], увеличением выноса из почвы элементов питания с продукцией, усилением напряженности почвенных процессов, в том числе минерализации органического вещества. К сожалению, в специальной научной литературе отсутствуют региональные данные, которые бы освещали гумусное состояние пахотных серых лесных почв при возделывании на них культур по интенсивным технологиям.

Нами сделана попытка восполнить этот пробел. Для этой цели проведено обследование полевого массива интенсивной технологии, примыкающего с северо-запада к д. Шайдурово. Судя по почвенной карте хозяйства, составленной в 1985 г. специалистами УралГИПРозема, на нем преобладают темно-серые лесные тяжелосуглинистые почвы, формирующиеся на делювиальных бескарбонатных отложениях. Такие почвы занимают в хозяйстве около 11 % площадей пахотных угодий. Они представлены, как правило, на выровненных участках водоразделов,

очень пологих склонах невысоких холмов. В хозяйстве на этих почвах возделывают в основном зерновые культуры.

На указанном полевом массиве идет четырехпольный полевой севооборот с 75 %-м насыщением зерновыми культурами. Органические удобрения (а таковыми являются торфяные компосты, приготовленные с использованием куриного помета, и навоз) вносят обычно осенью под основную вспашку (отвальную). Это обеспечивает высокую эффективность их использования и исключает или ограничивает возможность загрязнения природной среды. Минеральные удобрения вносят перед посевом локально, при посеве — в рядки и в дальнейшем, при необходимости,— в виде жидких подкормок.

6.1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Морфологическое строение темно-серых почв, их физические и химические свойства рассмотрим на примере разреза 16 как наиболее типичного.

А пах	0—27 см. От серого до темно-серого, влажноватый, рыхлый, мелкокомковатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями, обильны среднеразложившиеся растительные остатки, комочки извести; переход по цвету и структуре ясный, нижняя граница ровная.
А1	27—35 см. Серый, сухой, плотноватый, комковатой структуры тяжелый суглинок, пронизан корнями; переход по цвету и структуре ясный, нижняя граница неровная.
В1	35—60 см. Бурый, влажноватый, плотный, ореховатой структуры тяжелый суглинок; переход по цвету, структуре постепенный.
В2	60—90 см. Бурый, влажный, плотный, крупноореховатой структуры, по граням структурных отдельностей темные марганцовые пятна, гумусовый «глянец»; переход постепенный.
ВС	90—130 см. Бурый, влажный, плотный, неясной ореховатой структуры тяжелый суглинок.
С	130—140 см. Бурая, влажная, плотная глина.

Как видно из приведенного морфологического описания, отличительной особенностью рассматриваемой почвы являются большая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта (А пах+А1=35 см) и отсутствие морфологических признаков оподзоливания. Согласно аналитическим данным (табл. 43), эта почва характеризуется близкой к нейтральной реакцией среды, и только в средней части почвенного профиля наблюдается незначительное ее подкисление. Здесь же обнаружены и наиболее высокие показатели гидролитической кислотности. Содержание

Таблица 43

Химические свойства серой лесной пахотной почвы (разрез 16), обрабатываемой по интенсивной технологии

Глубина взятия образца, см	Генетический горизонт	pH_{H_2O}	Гидролитическая кислотность, мг·экв/100 г почвы	Поглощенные основания, мг·экв/100 г почвы			Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	$N_{общ}$, %	C:N	Подвижные формы, мг·экв/100 г почвы	
				Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$					P_2O_5	K_2O
0—5	А пах	7,6	0,7	24,6	5,3	29,9	98	4,34	0,50	5,0	18,2	17,3
5—10		7,6	1,1	24,6	5,2	29,8	96	3,99	0,41	5,6	18,9	16,0
10—15		7,6	1,4	20,9	5,1	26,0	95	4,13	0,44	5,4	18,3	17,3
15—20		7,6	1,1	24,3	4,2	28,5	96	3,14	0,46	4,0	10,1	16,6
20—25		7,5	1,1	22,0	5,3	27,3	96	3,44	0,48	4,1	10,1	19,4
25—35	А1	6,8	3,2	16,7	5,0	21,7	87	3,44	0,47	4,2	6,9	11,1
35—45	В1	5,6	6,6	18,4	7,9	26,3	80	0,93	0,32	1,7	5,1	10,5
45—60		5,5	7,0	16,2	5,8	22,0	76	0,98	0,37	1,5	3,8	11,9
60—70	В2	5,4	6,6	18,5	7,8	26,3	80	1,01	Нет свед.	Нет свед.	2,3	12,0
70—80		5,5	5,9	18,4	11,0	29,4	83	0,85	»	»	1,8	10,5
80—90		5,5	2,1	16,7	9,8	26,5	93	0,77	»	»	1,8	11,2
90—100	ВС	5,7	4,9	17,8	6,9	24,7	83	0,67	»	»	1,8	11,2
100—110		5,9	4,2	17,4	9,6	27,0	87	0,66	»	»	1,6	10,5
110—120		6,0	3,8	20,5	8,7	29,2	88	0,66	»	»	1,0	11,2
120—130		6,0	3,8	19,6	9,6	29,2	88	0,60	»	»	0,5	11,2
130—140	С	6,0	4,2	20,7	8,5	29,2	77	0,69	»	»	0,5	12,7

поглощенных оснований практически не меняется по профилю и составляет около 29 мг·экв/100 г почвы. Некоторое уменьшение их количества наблюдается в подпахотном горизонте, очевидно, как остаточное явление былого оподзоливания. Почва характеризуется высокой степенью насыщенности основаниями.

Содержание гумуса в пределах гумусово-аккумулятивной части профиля колеблется от 3,14 до 4,34, т. е. оно ниже, чем в пахотных и целинных темно-серых лесных почвах региона [226, 265]. Содержание азота достигает в А пах 0,44—0,50 %, что несколько больше тех значений, которые считаются типичными для окультуренных серых и темно-серых лесных почв Зауралья [226]. Насыщенность гумуса азотом закономерно уменьшается от 5,4—5,6 в А пах до 1,5—1,7 в горизонте В, т. е. для исследуемой почвы характерна высокая и очень высокая обогащенность органического вещества азотом.

Максимальные значения подвижных форм фосфора и калия отмечены в верхней части почвенного профиля, а наименьшие — в горизонтах ВС и С. Содержание P_2O_5 в А пах несколько ниже тех величин, которые Р. К. Сигнаевский и Н. А. Иванов [226] приводят как оптимальные для серых и темно-серых лесных почв Зауралья. Причиной тому является непроводившееся фосфоритование данного полевого массива.

Некоторые показатели физических свойств свидетельствуют, что профиль изученной почвы дифференцирован. Если величина объемной массы, общая пористость и степень аэрации верхнего слоя (20—25 см) не выходят за пределы оптимальных для пахотных почв, то иллювиальные горизонты уплотнены и обладают высоким удельным весом твердой фазы (2,70—2,80 г/см^3) и наименьшими величинами общей пористости (44—45 %) и степени аэрации (19—20 %).

Полная влагоемкость А пах составляет 51—61 % от объема почвы, а иллювиальных слоев — 45—46 %. Пахотный горизонт характеризуется высокой влажностью завядания (7,80—8,89 %) и максимальной гигроскопичностью (5,50—5,89 %), однако самые высокие значения этих показателей отмечены в горизонтах ВС и С.

6.2. ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

Содержание, запасы и профильное распределение гумусовых веществ, их водорастворимых форм и углерода предгумусовой фракции

Гумусовый профиль описываемой почвы характеризуется резким уменьшением содержания гумуса с глубины 35—40 см. Судя по низкому содержанию углерода предгумусовой фракции, в нашем случае этот показатель варьирует в А пах от 0,25 до 0,34 % (табл. 44), потенциальная способность исследуе-

мой почвы к гумусообразованию не оптимальна, поскольку считается [10], что в таких условиях она должна составлять не менее 0,5 %.

Высокое содержание в указанном горизонте водорастворимых форм углерода (0,06—0,08 %) свидетельствует о высокой миграционной способности гумусовых соединений. Водорастворимое органическое вещество мигрирует в подпахотные слои, и на глубине 25—35 см его содержание достигает максимальных в профиле величин (0,08—0,09 %), что составляет около 4 % от содержания в этой части почвенного профиля $C_{общ}$ (см. табл. 44).

Содержание общего углерода в разных слоях пахотного горизонта изменяется от 2,07 до 2,86 %, в горизонте А1 составляет 2,20 %, а на глубине 60—80 см — 0,50—0,60 % и далее в глубь почвы плавно уменьшается. Подобное распределение общего углерода и его предгумусовой фракции в почвенном профиле объясняется характером поступления гумусообразователей (органических удобрений и пожнивно-корневых остатков возделываемых культур), основная масса которых сосредотачивается в пределах обрабатываемого слоя.

Запасы гумуса по разрезу 16 в слоях почвы 0—20, 0—50 и 0—100 см составили соответственно 87,08; 163,53 и 236,62 т/га. Сопоставляя результаты наших определений с имеющимися в литературе [62, 226, 265] сведениями о запасах гумуса в различных подтипах серых лесных тяжелосуглинистых почв Зауралья, следует отметить, что такие запасы характерны для подтипа серых лесных, а не темно-серых почв.

Запасы углерода предгумусовой фракции в отличие от запасов гумуса и общего углерода невелики и составили в слое 0—20 см — 6,43 т/га, 0—100 см — 13,13 т/га, а общего углерода соответственно — 55,88 и 149,21 т/га.

Валовые запасы азота в почве оказались значительными за счет вносимых удобрений и превзошли таковые для ранее изученных почв хозяйства. В слое 0—20 см они составили 9,90 т/га, а во всей гумусово-аккумулятивной толще почвенного профиля (А пах+А1) — 12,66 т/га. Обычно такие запасы азота характерны для полуметровой толщи профиля серых лесных почв.

Изложенные материалы свидетельствуют о довольно высокой насыщенности почвы органическим веществом. Содержание и запасы углерода предгумусовой фракции свидетельствуют о недостаточном для расширенного воспроизводства запасов гумусовых веществ количестве растительных остатков и тех доз органических удобрений, которые поступают в почву при возделывании культур по интенсивным технологиям. Внесение повышенных доз минеральных удобрений (в расчете на высокий урожай), глубокая отвальная обработка почвы способствуют интенсификации минерализованных процессов, которые в первую очередь затрагивают предгумусовую фракцию.

Таблица 44

Профильное распределение общего углерода, его водорастворимых форм и углерода предгумусовой фракции в серой лесной почве при возделывании зерновых по интенсивной технологии (разрез 16), %

Глубина взятия образца, см	Генетический горизонт	$C_{общ}$	С водорастворимой фракции	С предгумусовой фракции
0—5	А пах	2,86	0,065/2,27	0,34/11,89
5—10		2,60	0,065/2,50	0,29/11,15
10—15		2,69	0,080/2,97	0,30/11,15
15—20		2,07	0,080/3,86	0,25/12,08
20—25		2,30	0,085/3,69	0,31/13,48
25—35	А1	2,20	0,090/4,09	0,21/9,50
35—45	В1	0,64	0,020/3,13	0,10/15,62
45—60		0,60	0,010/1,67	0,03/5,00
60—70	В2	0,59	0,010/1,69	0,01/1,69
70—80		0,49	Нет свед.	Нет свед.
80—90		0,45	»	»
90—100	ВС	0,39	»	»

Примечание. В числителе — к абсолютно сухой почве, в знаменателе — к $C_{общ}$.

Таблица 45

Фракционно-групповой состав гумуса пахотной серой лесной почвы при возделывании культур по интенсивной технологии в разрезе 16, % к $C_{общ}$

Глубина взятия образца, см	$C_{общ}$, %	Фракция гуминовых кислот				Фракция фульвокислот					Сумма фракций	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$	Негидролизуемый остаток
		1	2	3	Сумма	1а	1	2	3	Сумма			
0—5	2,47	5,4	20,4	13,5	39,3	6,6	4,5	12,7	2,3	26,4	65,4	1,50	34,6
10—15	2,30	6,3	24,8	13,0	44,1	3,6	8,7	8,2	6,1	26,6	70,7	1,65	29,3
20—25	1,96	7,2	27,3	13,0	47,5	9,1	5,5	20,5	6,6	41,7	89,2	1,14	10,8
25—30	1,95	6,4	26,3	12,4	45,1	7,2	9,2	9,6	4,9	30,9	76,0	1,46	24,0
35—45	0,53	1,3	13,0	3,5	17,8	17,4	7,5	8,6	9,9	43,4	61,2	0,41	38,8
45—60	0,55	1,7	7,7	3,5	12,9	16,1	5,9	13,8	7,5	43,3	56,2	0,30	43,8
60—70	0,57	1,5	14,7	3,5	19,7	15,4	2,7	8,9	6,0	33,0	52,7	0,60	47,3
70—80	0,48	0,9	11,0	1,6	13,5	15,4	3,8	13,9	8,9	42,0	55,5	0,32	44,5

Особенности варьирования содержания гумуса в пахотном горизонте как показатель степени окультуренности почвы

Большинство агротехнических мероприятий направлено на создание достаточно мощного для развития корневых систем растений и однородного по агрохимическим показателям пахотного горизонта. В рассматриваемом случае пахотный слой характеризуется большой мощностью (25—27 см) и однородностью морфологических признаков (цвет, структура, плотность, механический состав и т. д.).

На наш взгляд, результаты определения в разрезе 16 содержания органических веществ в отдельных слоях (0—5, 5—10 см и т. д.) А пах также свидетельствуют о значительной вертикальной однородности этого горизонта. В целях изучения пространственной пестроты содержания гумуса в пахотном горизонте этого полевого массива, было заложено 11 прикопок (повторностей) и в них определено содержание гумуса по слоям 0—10 (верхняя часть А пах) и 10—20 см (нижняя его часть). Оказалось, что содержание гумуса варьирует незначительно, о чем свидетельствуют довольно низкий коэффициент вариации рассматриваемого признака: C_v для слоя 0—10 см — 10,2, 10—20 см — 11,7. По мнению Л. В. Моргун [179], степень варьирования (в частности, гумуса) тем меньше, чем выше степень окультуренности почв.

Учитывая, что содержание гумуса в почве среднее (в слое 0—10 см — 4,23±0,143, 10—20 см — 4,48±0,166%) и пахотный горизонт довольно однороден по данному показателю, считаем возможным говорить о сравнительно высокой степени окультуренности почв этого полевого массива.

Фракционно-групповой состав гумуса

Определением фракционно-группового состава гумуса установлено, что пахотный и подпахотный гумусовый горизонты характеризуются фульватно-гуматным типом гумуса с отношением $C_{ГК} : C_{ФК} = 1,14—1,65$. С глубины 35—45 см в составе гумусовых веществ начинают доминировать ФК и отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ падает до 0,30—0,32, т. е. тип гумуса становится фульватным (табл. 45).

Пахотный горизонт от нижележащих отличает высокая и очень высокая степень гумификации органического вещества (39—47 %), в нижележащих слоях она в основном слабая и не превышает 16—17 %. В составе ГК, как и обычно в пахотных почвах, преобладает фракция, связанная с кальцием (фракция 2). На ее долю приходится 50—57 % от суммы ГК и по системе показателей гумусного состояния почв [56], содержание в А пах гуматов кальция среднее.

В подпахотных слоях содержание ГК, связанных с кальцием, становится высоким и очень высоким. Содержание «свободных» ГК (фракция 1) уменьшается в профиле от пахотного горизонта, где на их долю приходится 5,4—7,2 % от $C_{общ}$, к нижележащим слоям (0,9—1,7 % от $C_{общ}$). Напомним, что в этом разрезе отмечено высокое содержание водорастворимых форм органического углерода, что свидетельствует вместе с рассмотренным выше фактом о мобильности гумусовых веществ и доступности их микроорганизмам.

Содержание прочно связанных с минеральной частью почвы ГК (фракция 3) в пахотном слое высокое (27—34 % от суммы ГК), а в нижележащих горизонтах изменяется до среднего и варьирует в пределах 10—20 % от суммы ГК.

Среди фракций ФК обращает внимание профильное распределение фракции 1 а («агрессивной»). Максимальное ее содержание (в % к $C_{общ}$) отмечено в подпахотных слоях (до 15—17 %), а в А пах этот показатель существенно снижается. Минимальное содержание этой фракции получено для верхней части обрабатываемого слоя почвы (0—5 см — 6,6 %, 10—15 см — 3,6 % от $C_{общ}$). Однако, если использовать такой показатель «агрессивности», как $C_{ФК1а}/C_{ФК} \cdot 100$ % [34], то существенных различий между генетическими горизонтами профиля не будет, поскольку и в А пах, и в горизонтах В1 и В2 ФК окажутся сильно «агрессивными», так как указанная величина по всему профилю превышает 20 %.

Далее отметим равномерное распределение по профилю ФК оставшихся трех фракций, что объясняется высокой миграционной способностью ФК, реализуемой в условиях промывного типа водного режима. Увеличение подвижности ФК с глубиной обусловливается и повышением кислотности. В качестве примера приведем следующий факт: величина pH_{H_2O} в отдельных слоях А пах изменяется от 7,5 до 7,6, в верхней части горизонта В она равна 5,4—5,6 и только на глубине более метра повышается до 6,0.

Содержание негидролизуемого остатка в пахотном горизонте низкое, а в нижних слоях профиля возрастает до среднего, что связано с изменением по профилю прочности связи гумусовых веществ с минеральной частью почвы.

В заключение отметим, что в рассматриваемом разрезе отношение содержания ГК и ФК и изменение этого отношения по профилю несколько отлично от такового для ранее изученных разновидностей пахотных серых лесных почв хозяйства. Нужно подчеркнуть, во-первых, бóльшие величины этого отношения и бóльшую толщу профиля, в которой преобладает группа ГК и отношение $C_{ГК} : C_{ФК} > 1$, а во-вторых, значительную однородность слоев пахотного горизонта по величине этого отношения, что является следствием и одновременно свидетельством значительной окультуренности этих почв.

В целом содержание гумуса и его фракционно-групповой состав можно рассматривать в основном как оптимальные для подтипа пахотных серых лесных почв исследуемого региона. Недостатком в гумусном состоянии следует считать низкую способность почвы к гумусообразованию, что возникло в связи с недостаточным ежегодным поступлением свежего органического вещества в почву вследствие возросших темпов минерализации органики при возделывании зерновых культур по интенсивным технологиям.

Полученные данные позволяют уточнить также генетическую принадлежность этой почвы. По совокупности показателей ее нужно классифицировать не как темно-серую, а как серую хорошо окультуренную. Интенсивная технология в том ее варианте, который был применен в нашем случае, не создает предпосылок для столь глубокого преобразования свойств почв, приводящего к эволюции серой почвы в темно-серую.

ГЛАВА 7

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТОВ

В 1983—1987 гг. на примере трех полевых севооборотов с различной степенью насыщения их зерновыми культурами была предпринята попытка оценить влияние плодородия почв и их механической обработки на урожайность возделываемых культур и качество получаемой сельскохозяйственной продукции. Чередование культур и их набор в изучаемых севооборотах были одинаковыми, но в зависимости от назначения севооборота культура убиралась либо на зерно, либо на зеленую массу.

В севообороте 1 озимая рожь — яровая пшеница — ячмень — овес — ячмень все культуры были убраны на зерно, т. е. насыщение севооборота зерновыми составило 100 %. В севообороте 2 озимая рожь была убрана на зеленую массу, а все остальные культуры на зерно. В севообороте 3 помимо озимой ржи на «зеленку» были скошены овес и один из ячменей, у которого предшественником была пшеница. В целях максимального использования пашни, а точнее — почвенно-климатических ресурсов, после скашивания ржи на зеленый корм высевался рапс, который обычно убирался во второй — третьей декаде сентября. Степень насыщения севооборотов 2 и 3 составила соответственно 80 и 40 %.

Рассмотрим обобщенные за 5 лет (ротацию севооборота) данные (табл. 46) о сборе зерна и зеленой массы. Максимальным среднегодовой сбор зерна оказался в севообороте 1 на освоенном агрофоне при отвальной обработке почвы (26,9 ц/га), а наименьшим (15,7 ц/га) — в севообороте 3 на освоенном агрофоне, но при минимальной обработке почвы. Наибольший урожай зерна в 25—27 ц/га получен в специализированном севообороте с насыщением его зерновыми на 100 %, причем существенных различий в среднегодовом сборе зерна за ротацию севооборота между агрофонами (освоенный и плодородный) и вариантами с различной механической обработкой не обнаружено.

Причиной относительно невысоких в среднем за ротацию севооборота урожаев зерновых культур на опытном поле хо-

Таблица 46

Продуктивность полевых севооборотов и качество основной продукции в зависимости от агрофона (I — освоенный, II — плодородный) и механической обработки почвы (О — отвальная, Б/О — безотвальная, М — минимальная), ц/га

Севооборот	Обработка	I				II			
		Урожайность в среднем	В сумме за 5 лет			Урожайность в среднем	В сумме за 5 лет		
			Кормовые единицы	Протеин перевариваемый	Аминокислоты незаменимые		Кормовые единицы	Протеин перевариваемый	Аминокислоты незаменимые
1 (100 % зерновых)	О	26,9/33,2	216,7	15,5	10,1	26,5/36,0	234,5	17,2	9,4
	Б/О	25,6/36,2	216,4	15,2	9,7	26,5/38,5	233,0	17,0	10,1
	М	26,4/72,5	213,3	14,3	8,6	26,7/38,6	227,4	17,2	11,3
2 (80 % зерновых)	О	23,1/27,5 / 53,3	196,0	16,4	8,8	23,3/29,3 / 109,7	257,0	28,8	16,7
	Б/О	19,9/24,3 / 55,2	177,0	14,7	8,4	25,7/34,1 / 109,0	271,3	30,5	17,0
	М	20,7/22,6 / 53,0	176,9	15,4	8,4	24,7/30,9 / 109,9	268,0	30,7	16,7
3 (40 % зерновых)	О	18,3/25,8 / 37,4	147,3	16,7	8,2	20,4/33,4 / 63,3	230,6	32,2	16,7
	Б/О	17,2/26,3 / 37,0	145,5	15,3	7,9	22,3/34,8 / 60,7	231,1	32,6	16,2
	М	15,7/21,9 / 76,3	137,1	15,7	8,5	21,2/39,8 / 62,7	229,8	33,3	16,5

Примечание. В числителе — зерно, в знаменателе — солома, под чертой — зеленая масса.

зяйства является значительное их варьирование по годам как следствие существенных колебаний погодных условий. Между тем урожайность зерновых на опытном поле была выше, чем в целом по Свердловской области, где она достигала лишь 21,5 ц/га.

Как оказалось, внесение высоких доз органических удобрений существенного влияния на урожай зерновых в узкоспециализированном севообороте (со 100 %-м насыщением зерновыми) не оказало, и причиной тому, согласно исследованиям Ю. Г. Красуского с соавторами [128, 129], является замедление созревания зерна на фоне с органическими удобрениями и попадание посевов под осенние осадки, что влечет за собой снижение урожайности зерновых. Особенно заметно было снижение урожайности в 1984 и 1986 гг., вегетационные периоды которых характеризовались как холодные и избыточно увлажненные.

Урожайность зерновых культур в севооборотах 2 и особенно 3 в целом за ротацию ниже, чем в севообороте 1. В этих вариантах опыта урожайность на плодородном фоне была заметно выше, особенно при безотвальной и минимальной обработках. В севооборотах 2 и 3 обнаружена общая закономерность с севооборотом 1, а именно, урожайность уменьшается в ряду почв с отвальной, безотвальной и минимальной обработками.

Среднегодовой сбор зеленой массы на освоенном агрофоне в севообороте 2 варьировал в зависимости от обработки почвы от 53,0 до 55,2 ц/га, а в севообороте 3 от 36,3 до 37,4 ц/га. Возделывание культур на плодородном фоне существенно сказывается на росте их вегетативной части. Например, у пшеницы, произрастающей на освоенном фоне, растения представлены в основном одно-двухстебельными формами, а на плодородном — двух-трех- и даже четырехстебельными формами растений [129]. У ячменя на плодородном фоне увеличиваются продуктивная кустистость (2,06 против 1,38 на освоенном), показатель относительной облиственности растений (373 против 340 см^2/г на освоенном) [128]. В результате выход зеленой массы в севообороте 3 в зависимости от обработки почвы составил на освоенном фоне 36,3—37,4 ц/га в год, а на плодородном — 60,7—63,3 ц/га. В севообороте с 80 %-м насыщением зерновыми урожай зеленой массы на плодородном фоне в 2 раза превысил таковой на освоенном фоне. За счет двухукосного использования зерновых культур (второй укос — отросшая отава зерновых) и возделывания после озимой ржи рапса удается существенно повысить продуктивность каждого гектара пашни.

Рассмотрим, как изменяется качество урожая при выращивании растений на плодородном фоне. Данные табл. 46 свидетельствуют, что при возделывании растений на плодородном фоне удается увеличить по сравнению с освоенным выход перевариваемого протеина и незаменимых аминокислот. Повышение

Таблица 47

Урожайность культур, возделываемых на зеленую массу, и качество основной продукции в зависимости от уровня гумусированности почвы и видов механической обработки, ц/га

Культура	Обработка почвы*	Освоенный агрофон				Плодородный агрофон			
		Урожай	Кормовые единицы	Перевариваемый протеин	Аминокислоты незаменимые	Урожай	Кормовые единицы	Перевариваемый протеин	Аминокислоты незаменимые
Озимая рожь									
I укос	О	26,0	21,7	3,06	1,56	34,8	28,9	4,15	2,51
	Б/О	25,7	21,2	2,88	1,29	33,2	27,9	4,41	2,33
	М	23,7	19,2	2,79	1,36	32,5	26,3	4,45	2,38
II укос	О	12,8	10,5	1,28	0,75	19,3	16,3	2,33	1,34
	Б/О	13,7	11,1	1,33	0,78	18,0	15,4	2,23	1,30
	М	13,0	10,7	1,28	0,72	19,7	16,3	2,40	1,40
Рапс пожнивно	О	24,2	21,1	3,95	2,21	40,4	37,2	7,54	4,13
	Б/О	21,0	18,1	3,30	1,65	33,5	30,7	6,46	3,30
	М	23,2	20,0	3,61	1,84	38,3	34,6	7,07	3,34
Ячмень									
I укос	О	24,2	16,2	1,99	0,94	31,9	22,0	3,14	1,34
	Б/О	26,4	16,9	2,14	1,12	29,0	18,3	2,48	0,80
	М	25,7	16,7	2,35	1,10	34,2	22,5	2,56	1,25
II укос	О	9,8	7,1	0,87	0,40	11,5	8,0	1,43	0,56
	Б/О	8,3	5,9	0,86	0,30	9,4	6,8	1,10	0,39
	М	10,1	7,2	0,90	0,24	12,1	8,7	1,60	0,40
Овес									
I укос	О	24,4	15,9	2,36	0,91	42,0	24,9	3,22	1,93
	Б/О	19,4	12,6	1,51	0,76	41,1	24,7	3,70	1,81
	М	22,7	14,5	1,76	0,80	42,0	25,4	3,22	1,84
II укос	О	9,3	6,0	0,33	0,20	12,5	7,92	0,66	0,27
	Б/О	8,3	5,6	0,40	0,16	13,6	9,1	0,81	0,28
	М	7,3	4,8	0,22	0,15	9,6	6,5	0,60	0,23

* То же, что в табл. 46.

содержания перевариваемого протеина в зерне и вегетативных органах растений особенно важно при использовании урожая на кормовые цели. В севообороте с 40 %-м насыщением зерновыми выход протеина с единицы площади пашни увеличился на плодородном фоне по сравнению с освоенным в 1,9—2,1 раза (в зависимости от обработки почвы), тогда как в севообороте со 100 %-м насыщением только в 1,1—1,2 раза. По кормовым единицам самым эффективным оказался севооборот 2, при условии возделывания культур на плодородном фоне. Заметим, что на этом фоне за ротацию севооборота наибольшее количество кормовых единиц во всех трех севооборотах удалось получить при безотвальной обработке.

Полученные нами данные о влиянии больших доз органических удобрений на кормовую ценность культур согласуются с результатами других исследователей [240], показавших зависимость качества зерна от уровня гумусированности почвы и применяемых доз минеральных удобрений. Из всех культур, которые были убраны на зеленую массу, наибольший выход кормовых единиц, перевариваемого протеина и незаменимых аминокислот обеспечивает рапс, выращенный на плодородном фоне (табл. 47). Учитывая, что это всего лишь пожнивная культура, а основной в данном звене севооборота является рожь, можно с уверенностью сказать, что именно возделывание озимой ржи на зеленую массу с пожнивным рапсом дает высокие урожаи высококачественных кормов. Анализ данных урожайности показал, что в год с тепловым режимом выше средних многолетних урожайность озимой ржи и рапса была выше, чем в годы с недостатком тепла.

В свете рассмотренных данных о продуктивности полевых севооборотов интересно сопоставить их с изменением морфологического облика почвы, содержания и запасов гумуса и его качественного состава, а также величины pH, содержания фосфора и калия в начале (1983 г.) и конце ротации (1988 г.) пятипольного зернового севооборота. В оба срока наблюдения разрезы и прикопки для математической обработки были заложены на одних и тех же вариантах опыта.

Существенные морфологические изменения за время ротации севооборота произошли в пахотном горизонте: он оказался более плотным, а в ряде случаев отмечено даже слитое его сложение, несколько изменились окраска (на плодородном и улучшенном агрофонах она стала серой) и структура (возросло содержание глыбистой структуры). Наметилась тенденция к увеличению мощности аккумулятивного горизонта на улучшенном и плодородном агрофонах. В подпахотных слоях заметных изменений в морфологии не произошло. Приводим сравнительное морфологическое описание разрезов.

Освоенный агрофон

	1983 г.	1988 г.
Апах	$\frac{0-22}{22}$ см. Серый, влажноватый, слегка уплотнен, непрочнокомковатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями растений; переход резкий, нижняя граница ровная.	$\frac{0-20}{20}$ см. Светло-серый, сухой, плотный глыбистой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями растений, единично мелкая кварцевая галька и комочки извести; переход по цвету и структуре резкий, граница ровная.
B1	$\frac{22-62}{40}$ см. Бурый, влажнокомковатый, плотный, комковато-ореховатой структуры тяжелый суглинок, пронизан корнями растений; переход по цвету, структуре постепенный.	$\frac{22-60}{40}$ см. Бурый, сухой, плотный, крупноореховатой структуры тяжелый суглинок, корней мало; переход по цвету и структуре постепенный.
B2	$\frac{62-109}{47}$ см. Темно-бурый, влажный, плотный, крупноореховатой структуры тяжелый суглинок, единичны корни растений; переход постепенный.	$\frac{60-110}{50}$ см. Темно-бурый, влажноватый, плотный, крупноореховатой структуры тяжелый суглинок; переход по цвету и структуре постепенный.
BC	$\frac{109-140}{31}$ см. Бурый, влажноватый, плотный, неясной ореховатой структуры тяжелый суглинок.	Не описывался.
C	140—160 см и глубже. Бурая, влажная, плотная, бесструктурная глина.	Не описывался.

Улучшенный агрофон

	1983 г.	1988 г.
Апах	$\frac{0-24}{24}$ см. Серый, влажноватый, слегка уплот-	$\frac{0-25}{25}$ см. Темно-серый, влажноватый, плот-

ненный, непрочной комковатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями растений, единично комочки извести и торфа, мелкая кварцевая галька; переход резкий, нижняя граница ровная.

A1 $\frac{24—28}{4}$ см. Серый, влажноватый, плотный, комковато - ореховатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями растений; переход по цвету и структуре ясный, нижняя граница в виде карманов и затеков.

B1 $\frac{28—67}{39}$ см. Светло-бурый, влажный, плотный, тяжелый суглинок, ореховатой структуры, пронизан корнями; переход по цвету и структуре постепенный.

B2 $\frac{67—120}{53}$ см. Бурый, влажный, плотный, ореховатой структуры тяжелый суглинок, с единичными корнями; переход постепенный.

BC $\frac{120—160}{40}$ см. Бурый, влажный, плотный, неясноореховатой структуры тяжелый суглинок.

ный, крупно-комковатой структуры тяжелый суглинок, густо пронизан корнями, обильны полуразложившиеся соломистые остатки, встречаются комочки извести и торфа; переход по цвету и структуре ясный, граница ровная.

A1 $\frac{25—35}{10}$ см. Темно-серый, влажноватый, плотный, комковатой структуры с полуразложившимися растительными остатками; переход по цвету и структуре ясный, граница ровная.

B1 $\frac{35—70}{35}$ см. Бурый, прокрашен гумусом (по граням структурных отдельностей), влажный, плотный, ореховатой структуры тяжелый суглинок; переход по цвету и структуре постепенный.

B2 $\frac{70—110}{40}$ см. Бурый, влажный, плотный, крупноореховатой структуры тяжелый суглинок.

BC 110—120 см и глубже. Темно-бурый, плотный, влажный, крупноореховатой структуры тяжелый суглинок.

Плодородный агрофон

	1983 г.	1988 г.
А пах	$\frac{0-22}{22}$ см. Серый, влажноватый, рыхлый, комковатой структуры тяжелый суглинок, обильны комочки торфа, густо пронизан корнями растений; переход по структуре ясный, нижняя граница ровная.	$\frac{0-25}{25}$ см. Серый, сухой, плотный, комковато-глыбистой структуры тяжелый суглинок, пронизан корнями, комочки торфа, извести единично; переход по цвету и структуре ясный, нижняя граница ровная.
А1	$\frac{22-30}{8}$ см. Серый, влажноватый, плотный, мелкокомковатой структуры тяжелый суглинок, пронизан корнями; переход по цвету и структуре резкий, нижняя граница ровная.	$\frac{25-30}{5}$ см. От серого до серо-бурого, сухой, слитый, глыбистой структуры тяжелый суглинок, пронизан корнями растений преимущественно по старым ходам; переход по цвету и структуре резкий.
В1	$\frac{30-50}{20}$ см. Бурый, влажный, плотный, ореховатой структуры тяжелый суглинок, пронизан корнями; переход по цвету и структуре постепенный.	$\frac{30-50}{20}$ см. Бурый, влажноватый, плотный, ореховатой структуры тяжелый суглинок, корней мало; переход по цвету и структуре постепенный.
В2	$\frac{50-103}{53}$ см. Бурый, влажный, плотный, крупноореховатой структуры тяжелый суглинок; переход по цвету и структуре постепенный.	$\frac{50-90}{40}$ см. Бурый, влажноватый, плотный, крупной неясноореховатой структуры тяжелый суглинок; переход по цвету и структуре постепенный.
ВС	$\frac{103-130}{27}$ см. Бурый, влажный, плотный, неясноореховатой структуры тяжелый суглинок.	90 см и глубже. От бурого до коричневого, влажноватый, плотный, неясноореховатой структуры тяжелый суглинок.

Для оценки влияния севооборота на состав гумуса сравнивалось его качество в начале и в конце севооборота. Для этой цели были взяты почвы на освоенном, улучшенном и плодородном агрофонах при отвальной обработке в пределах пахотного горизонта по слоям 0—10 и 10—20 см.

Полученные данные (табл. 48) показывают, что на освоенном агрофоне (разрезы 3 и 3а) наблюдается в конце ротации незначительное уменьшение общего углерода. При этом происходит гомогенизация пахотного горизонта почвы, о чем можно судить по одинаковым цифрам (1,3 % $C_{общ}$) в верхнем и нижнем слоях этого горизонта. Содержание всех фракций гуминовых кислот, кроме прочно связанной с полуторaоксидами (фракция 3), при этом уменьшается.

Суммарное количество фульвокислот обнаруживает тенденцию к увеличению преимущественно за счет непрочно связанной с полуторaоксидами фракции 1, а в слое 10—20 см также из-за агрессивной фракции 1а. Отмеченные изменения во фракционном составе гумуса оказывают влияние и на групповой состав — уменьшается $C_{ГК} : C_{ФК}$, т. е. гумус становится более фульватным. При этом суммарное содержание фракций и негидролизуемого остатка практически не изменяется. Количество последнего увеличивается от верхнего слоя к нижнему, что свидетельствует о некотором ослаблении процессов минерализации с глубиной.

На улучшенном агрофоне (разрезы 1 и 1а) в конце ротации по сравнению с началом происходит увеличение количества углерода. В отличие от почв освоенного агрофона здесь возрастает в конце ротации содержание фракций 1 и 2 гуминовых кислот, но лишь в слое 0—10 см, количество прочно связанных с полуторaоксидами при этом убывает. Больше в этом слое и сумма гуминовых кислот. Содержание фульвокислот становится больше за счет резкого увеличения фракций 1 и 3. При этом агрессивность гумуса (фракция 1а) уменьшается, тогда как на освоенном агрофоне увеличивается. В групповом составе гумуса хотя и преобладают гуминовые кислоты, но количество их заметно убывает к концу ротации.

На плодородном агрофоне (разрезы 2 и 2а) сколько-нибудь значительных изменений в содержании общего углерода к концу ротации не произошло, однако его количество оказалось здесь меньше, чем на улучшенном агрофоне. Очевидно, в рассматриваемом варианте опыта процессы минерализации органического вещества интенсифицируются. Тем не менее, поступившего количества органических веществ с удобрениями достаточно, чтобы поддерживалось содержание углерода на том же уровне, что и в начале ротации. Большой объем органической массы кислой природы способствует преимущественному новообразованию фульвокислот, что на фоне практически неизменного суммарного количества гуминовых кислот приводит к увеличению фуль-

Таблица 48

Фракционно-групповой состав гумуса за ротацию пятипольного зернотравяного

Глубина взятия образца, см	$C_{общ}$, %	Фракция гуминовых кислот			
		1	2	3	Сумма
			Разрез 3 (начало ротации),		
0—10	1,6	6,7	31,8	8,0	46,5
10—20	1,7	6,4	31,3	8,2	45,9
					Разрез 3а
0—10	1,3	5,0	25,9	10,4	41,3
10—20	1,3	5,3	24,2	10,1	39,6
			Разрез 1 (начало ротации),		
0—10	2,6	8,7	15,5	13,6	37,4
10—20	2,3	5,3	27,1	15,6	48,0
					Разрез 1а
0—10	3,3	12,0	21,4	8,2	41,6
10—20	3,3	10,9	18,2	7,9	37,0
			Разрез 2 (начало ротации),		
0—10	2,3	10,4	23,4	12,7	46,5
10—20	2,3	7,5	22,9	8,7	39,1
					Разрез 2а
0—10	2,4	10,7	18,4	12,6	41,7
10—20	2,3	11,1	15,4	13,7	40,2

ватности гумуса. Судя по уменьшению содержания фракции 2 гуминовых кислот к концу ротации, можно считать, что в этих почвах создается дефицит кальция. Очевидно, в этом случае необходимо повторное известкование.

Таким образом, качественный состав гумуса рассматриваемых почв ухудшается к концу ротации не столько за счет изменения содержания гуминовых кислот, сколько из-за увеличения количества фульвокислот. Внесение органических удобрений (улучшенный и плодородный агрофоны) способствуют накоплению в почве бурых гуминовых кислот (фракция 1), играющих наиболее важную роль в питании растений. Проведенный опыт убеждает в том, что внесение больших доз органических удобрений должно сопровождаться дополнительным известкованием.

севооборота

Фракция фульвокислот					Сумма фракций	Негидролизуемый остаток	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$
1а	1	2	3	Сумма			
освоенный							
6,0	4,9	11,8	6,1	28,8	75,3	24,7	1,61
6,9	5,2	10,3	4,1	26,5	72,4	27,6	1,73
(конец ротации)							
5,3	12,2	10,3	4,0	31,8	73,1	26,9	1,29
8,0	8,6	11,4	4,3	32,3	71,9	28,1	1,22
улучшенный							
5,3	2,5	11,8	1,7	21,3	58,7	41,3	1,75
6,1	5,1	9,0	0,5	20,7	68,7	31,3	2,31
(конец ротации)							
4,7	12,9	5,9	4,5	28,0	69,6	30,4	1,49
4,7	14,0	8,8	5,4	32,9	69,9	30,1	1,12
плодородный							
4,8	4,3	7,6	1,5	18,2	64,3	35,7	2,55
5,1	3,1	9,0	1,7	18,9	58,0	42,0	2,06
(конец ротации)							
6,5	7,2	16,9	11,0	41,6	83,3	16,7	1,00
5,5	10,0	17,2	6,8	39,5	79,7	20,3	1,02

Таблица 49

Изменение содержания гумуса за ротацию пятипольного зернотравяного севооборота в А пах различных агрофонов опытного поля, %

Агрофон	Глубина взятия образца, см	Начало ротации $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Конец ротации $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Освоенный	0—10	3,59±0,11	2,41±0,05
	10—20	3,74±0,13	2,45±0,11
Улучшенный	0—10	3,63±0,06	5,82±0,08
	10—20	3,75±0,23	5,73±0,21
Плодородный	0—10	4,80±0,16	4,06±0,10
	10—20	4,74±0,23	4,15±0,11

Таблица 50

Изменение содержания подвижных форм P_2O_5, K_2O за ротацию пятипольного севооборота в А пах различных агрофонов опытного поля

Агрофон	Глубина взятия образца, см	Подвижные формы,	
		K_2O	P_2O_5
Освоенный	0—10	11,78±0,35/14,32±0,60	18,00±1,67/15,65±0,41
	10—20	11,59±0,50/12,34±0,60	19,37±2,40/15,33±1,17
Улучшенный	0—10	9,55±0,59/11,14±0,50	15,83±0,50/13,04±0,21
	10—20	9,77±0,26/ 9,52±0,67	14,67±0,93/12,17±0,65
Плодородный	0—10	20,77±0,77/19,02±0,60	32,17±0,59/35,80±2,27
	10—20	19,38±1,54/17,77±0,70	29,40±0,83/38,20±0,91

Примечание. В числителе — начало ротации, в знаменателе — конец.

Статистическая обработка данных (табл. 49) показывает, что изменение содержания гумуса за ротацию по вариантам опыта происходит неоднозначно.

На освоенном агрофоне в слое 0—10 см содержание гумуса уменьшается на 1,18 %, на плодородном — на 0,74 %, а на улучшенном возрастает на 2,19 %. Разница между вариантами, а также в конце и начале ротации достоверна. Исходя из полученных данных можно считать, что применение в качестве органического удобрения торфа более благоприятно, чем торфокомпоста, так как в последнем случае возможны «непроизводительные» потери гумуса из-за активизации процессов разложения и полной минерализации растительных остатков. Скорость преобразования гумусного состояния почв неоднозначна во времени. Во всяком случае, пятилетнего срока при определенной антропогенной нагрузке вполне достаточно для изменения количества и качества гумуса. Это еще раз убеждает в необходимости при оценке гумусного состояния пахотных почв непременно учитывать групповой и фракционный состав гумуса, что в работах предшествующих исследователей на Урале практически не делалось. Важным показателем гумусного состояния почв являются запасы гумуса. Соответствующие расчеты показали, что в начале ротации запасы гумуса составляли в пахотном горизонте на освоенном агрофоне 85,5 т/га, на улучшенном — 85,3, на плодородном — 101,1 т/га. По окончании ротации запасы гумуса равнялись соответственно 63,2; 131,5; 103,0 т/га. Из этих данных следует, что в почвах, где органические удобрения не вносятся, происходит убыль гумуса. Наиболее ощутимое увеличение его запасов (до 131,5 т/га), превышающее показатели плодородного агрофона, наблюдалось на улучшенном агрофоне, очевидно, за счет слабо гумифицированного органического вещества торфа. На плодородном агрофоне запасы гумуса оказались стабильными в течение ротации. Большие дозы органических

зернотравяного	мг/100 г почвы	pH_{H_2O}
		7,3/6,6
		7,2/6,6
		7,3/6,6
		7,3/6,6
		7,3/6,8
		7,1/6,7

удобрений в этом случае компенсировали потери гумуса, вызванные активизацией минерализационных процессов.

Для оценки изменений, происходящих в почвах за ротацию в содержании минеральных элементов, сравнивали количество подвижных форм калия и фосфора (табл. 50). Оказалось, что на освоенном и улучшенном агрофонах происходит некоторое накопление калия к концу ротации в слое 0—10 см. На плодородном в пределах всего пахотного горизонта количество калия уменьшается, в то время как содержание фосфора заметно возрастает. Реакция среды (pH_{H_2O}) к концу ротации повсеместно сдвигается в сторону подкисления.

Итак, совокупность показателей гумусного состояния и минерального питания в условиях плодородного агрофона благоприятствует прежде всего улучшению качества зерна. В частности, на плодородном агрофоне по сравнению с освоенным при одной и той же отвальной обработке со 100%-м насыщением севооборота зерновыми культурами количество кормовых единиц возрастает за 5 лет на 18 ц/га, а перевариваемого протеина на 1,7 ц/га (см. табл. 46). При насыщении севооборота зерновыми на 80 и 40 % разница в содержании кормовых единиц, протеина и незаменимых аминокислот возрастает в 1,5—2 раза. Таким образом, гумусное состояние почв выступает своеобразным гарантом получения больших урожаев и высококачественной сельскохозяйственной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абатуров Ю. Д. Влияние сосновых и березовых лесов на почвы Южного Урала // Почвоведение. 1961. № 1. С. 47—54.

2. Абатуров Ю. Д. Изменение почв при смене сосняков на березняки в условиях Ильменского заповедника // Доклады 2-й научно-технической конференции молодых специалистов лесного производства Урала по итогам работ 1961 г. Свердловск, 1962. С. 29—30.

3. Абатуров Ю. Д. Некоторые особенности биологического круговорота азота и зольных элементов в сосняках Южного Урала // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. 1966. Вып. 55. С. 69—78.

4. Агроклиматический справочник по Свердловской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 196 с.

5. Агроценозы степной зоны / Под ред. В. Б. Ильина. Новосибирск: Наука, 1984. 246 с.

6. Адерихин П. Г. Изменение черноземных почв ЦЧО при использовании их в сельском хозяйстве // Черноземы ЦЧО и их плодородие. М., 1964. С. 61—88.

7. Акентьева Л. И., Чижова М. С. Изменение гумусообразования в черноземах при длительном применении плоскорезной обработки // Почвоведение. 1986. № 2. С. 69—74.

8. Александрова Л. Н. О природе и свойствах продуктов взаимодействия гумусовых кислот и гуматов с полуторакисями // Почвоведение. 1954. № 1. С. 14—29.

9. Александрова Л. Н. Процессы гумусообразования в почве // Тр. Ленингр. с.-х. ин-та. 1970. Т. 142. С. 26—82.

10. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.

11. Александрова Л. Н., Надь М. О природе органо-минеральных коллоидов и методах их изучения // Почвоведение. 1958. № 8. С. 15—28.

12. Александрова Л. Н., Пупков А. М. Процессы трансформации органических удобрений в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. 1980. № 10. С. 44—51.

13. Александрова Л. Н., Фомин Ю. И. О механизме взаимодействия глинистых минералов с гуминовыми кислотами и продуктами разложения растительных остатков // Зап. Ленингр. с.-х. ин-та. 1972. Т. 237. С. 11—18.

14. Алиев С. А. Условия накопления и природа органического вещества почв. Баку: Изд-во АзССР, 1966. 280 с.

15. Алпатьев А. М., Архангельский А. М., Подплелов Н. Я. и др. Физическая география СССР: Европейская часть и Урал. М.: Высш. шк., 1976. 272 с.

16. Андронников В. Л. Об изменении свойств серых лесных почв при окультуривании // Изменение почв при окультуривании, их классификация и диагностика. М., 1965.

17. Аристовская Т. В. Микробиология подзолистых почв. М.; Л.: Наука, 1965. 187 с.

18. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.

19. Афанасьев Н. И. Плотность почв БССР и влияние на нее техники // Влияние сельскохозяйственной техники на почву. М., 1981. С. 42—47.

20. Багаутдинов Ф. Я., Валиев М. Ш. Влияние минеральных удобрений на содержание и состав гумуса типичного чернозема и урожайность культур // Повышение плодородия почв в условиях интенсивной системы земледелия. Уфа, 1986. С. 41—48.

21. Базилевич Н. И., Гребенщиков О. С., Тишков А. А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 296 с.

22. Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Географические закономерности продуктивности и круговорота химических элементов в основных типах растительности Земли // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л., 1969. С. 24—33.

23. Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах // Биологическая продуктивность и круговорот элементов в растительных сообществах. Л., 1971. С. 5—32.

24. Базилевич Н. И., Титлянова А. А. Особенности функционирования травяных экосистем. Некоторые итоги работ МБП в СССР и в других странах // Журн. общ. биологии. 1978. Т. 33. № 1. С. 34—52.

25. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфянистых почв и методы его изучения. Минск: Наука и техника, 1984. 175 с.

26. Бельчикова Н. П. Материалы к изучению гумуса подзолистых и дерново-подзолистых естественных и освоенных почв европейской части СССР // Микроорганизмы и органические вещества почв. М., 1961. С. 260—290.

27. Бильдебаева Р. М., Дильдабекова З. А. Изменение гумуса при освоении почв // Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВОП, Ташкент, 9—13 сент. Ч. 2. Ташкент, 1985. С. 40.

28. Биологические основы плодородия почвы / Под ред. О. А. Берестецкого. М.: Колос, 1984. 287 с.

29. Битюцкая Л. Г., Егорова Л. И. Влияние известкования дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв Новгородской сельскохозяйственной опытной станции на состав и свойства гумуса // Тезисы докладов научной конференции «Докучаевское почвоведение 100 лет на службе сельского хозяйства». Л., 1983. С. 24—25.

30. Бобрицкая М. А. Роль однолетних культурных растений в балансе органических и минеральных веществ в почве // Почвоведение. 1958. № 1. С. 44—55.

31. Богатырев К. П., Ногина Н. А. Почвы горного Урала // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. М., 1962. С. 5—49.

32. Борисовецкий Т. Я., Коцюренко М. Х., Федоренко Л. В. Корневые и пожнивные остатки полевых культур свекловичного севооборота и их химический состав // Агрохимия. 1966. № 9. С. 83—87.

33. Быкова Л. Н., Зырин Н. Г. Значение корней травянистой растительности в круговороте азота и зольных элементов // Вестн. МГУ. Сер. Биология, почвоведение. 1960. № 3. С. 67—75.

34. Василевская В. Д., Шварова Т. Ю. Подзолистые почвы Вологодской области // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. № 4. С. 15—24.

35. Волобуев В. Р. О почвенно-климатических ареалах // Почвоведение. 1945. № 1. С. 3—16.

36. Волобуев В. Р. Почвы и климат. Баку: Изд-во АН АзССР, 1953. 320 с.

37. Волобуев В. Р. Система почв мира. Баку: Изд-во ЭЛМ, 1973. 308 с.

38. Вологжанина Т. В., Ускова М. П. Гумусовый профиль и показатели гумусного состояния светло-серых лесных почв зоны широколиственных лесов // Методы повышения плодородия почв на Урале. Пермь, 1981. С. 13—21.

39. Вологжанина Т. В., Ускова М. П. Темно-серые лесные почвы северной и южной подзон зоны широколиственных лесов // Свойства почв и рациональное использование удобрений. Пермь, 1986. С. 3—9.

40. Гопоненков Т. К., Мухоротов Я. Н., Станиславская Т. К.

Влияние однолетних растений на накопление органического вещества и структуру почвы // Земледелие. 1958. № 1. С. 23—26.
41. Гарифуллин Ф. Ш., Ганиев Х. И. Изменение агрохимических свойств серых лесных почв при их окультуривании // Изменение почв в процессе их окультуривания. Уфа, 1974. С. 33—37.
42. Гаркуша И. Ф. Изменение дерново-подзолистых почв под влиянием окультуривания // Почвоведение. 1955. № 4. С. 33—47.
43. Гаур А. С. Использование растительных остатков в качестве удобрения: Новейшие тенденции в Индии // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1986. № 2. С. 210—217.
44. Геология СССР. Т. 12. М.: Наука, 1973. 630 с.
45. Геркиял З. В. Режим органического вещества почвы в длительном опыте с удобрениями // Плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Киев, 1985. С. 62—69.
46. Гертель Э. К. Роль растительных остатков в балансе органического вещества пахотных почв Красноярской лесостепи // Особенности формирования и использования почв Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1982. С. 126—134.
47. Гирфанов В. К., Ахметшин Х. С. Влияние почвенно-экологических и агротехнических условий на продуктивность различных сортов яровой пшеницы // Материалы по изучению почв БАССР. Уфа, 1960. Вып. 1. С. 109—137.
48. Гнетиева Л. Н., Барышникова Л. М. Влияние корневых и пожнивных остатков зернобобовых культур на продуктивность ярового ячменя // Агрохимия. 1985. № 1. С. 63—65.
49. Гомонова Н. Ф., Овчинникова М. Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 1986, № 1. С. 85—90.
50. Горбунов Н. И. Минералогия и коллоидная химия почв. М.: Наука, 1974. 314 с.
51. Горчаковский П. Л. Растительность Урала // Урал и Предуралье. М., 1968. С. 211—262.
52. Градусов Б. П. Влияние лесных подстилок на химические свойства почв в подзоне южной тайги // Почвоведение. 1958. № 8. С. 111—117.
53. Гришина Л. А., Сребнова Л. В. Моделирование процессов миграции гумусовых веществ // Тезисы докладов 4 делегатского съезда ВОП. Алма-Ата, 1970. Ч. 1. С. 74—76.
54. Гришина Л. А. Трансформация органического вещества и гумусное состояние почв: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1982.
55. Гришина Л. А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
56. Гришина Л. А., Орлов Д. С. Система показателей гумусного состояния почв // Тезисы докладов 5 делегатского съезда ВОП. Минск, 1977. Вып. 2. С. 3—5.
57. Гришина Л. А., Орлов Д. С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы советского почвоведения: Советские почвоведы к II Международному конгрессу почвоведов. М., 1978. С. 42—47.
58. Гришина Л. А., Самойлова Е. М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: Изд-во МГУ, 1971. 98 с.
59. Гуренев М. Н., Микова О. А. Эффективное использование пашни путем внедрения промежуточных посевов кормовых культур в Предуралье // Методы повышения плодородия почв на Урале. Пермь, 1981. С. 3—7.
60. Данилевский А. Ф., Ещенко В. Е. Накопление растительных остатков полевых культур в почве и содержание в них питательных веществ // Агрохимия. 1972. № 8. С. 65—69.
61. Дедков В. С., Павлова Т. С., Прокопович Е. В. и др. Рубки леса и свойства горно-лесных буро-подзолистых почв Среднего Урала // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск, 1987. С. 20—35.
62. Дергачева М. И. Сравнительная характеристика состава гумуса

бурых и серых лесных почв Среднего Урала // Химия, генезис и картография почв. М., 1968. С. 90—93.
63. Дергачева М. И. О соотношении основных компонентов гумуса в профиле некоторых типов лесных почв Урала и Зауралья // Почвоведение. 1969. № 7. С. 118—125.
64. Дергачева М. И. Состав гумуса и свойства почв некоторых типов леса Среднего Урала и равнинного Зауралья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1969.
65. Дергачева М. И. Оптические свойства гумусовых веществ лесных почв Урала и Зауралья // Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. 1972. Вып. 85. С. 146—154.
66. Дергачева М. И. Гумусовый профиль черноземов (определение, формализация, примеры) // Тезисы докладов научной конференции «Докучаевское почвоведение 100 лет на службе сельского хозяйства». Л., 1983. С. 9—10.
67. Дергачева М. И. Органическое вещество почв, статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 152 с.
68. Дергачева М. И. Генетико-эволюционная значимость гумусового профиля почв // Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВОП. Ташкент, 1985. Ч. 4. С. 29.
69. Дергачева М. И. Динамичность как одно из свойств гумуса // Современные проблемы гумусообразования. Сыктывкар, 1986. С. 61—68.
70. Демин Л. А. Влияние удобрений и разных систем обработки почвы на распределение корней сельскохозяйственных культур по профилю дерново-подзолистой почвы // Некоторые свойства почв Среднего Предуралья и пути эффективного использования минеральных удобрений. Пермь, 1981. С. 123—127.
71. Демин Л. А., Холзаков В. М. Накопление растительных остатков в дерново-подзолистой почве культурами севооборота // Методы повышения плодородия почв на Урале. Пермь, 1981. С. 60—63.
72. Добрынин Г. М. Рост и формирование вегетативных органов злаков: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Л., 1963.
73. Добрынин Г. М. Рост и формирование хлебных и кормовых злаков. Л.: Колос, 1969. 276 с.
74. Докучаев В. В. Сочинения. Т. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 608 с.
75. Дудкин В. П., Павлюченко А. У. Накопление и разложение растительных остатков полевых культур в почве // Агрохимия. 1980. № 3. С. 72—77.
76. Дьяконова К. В., Булеева В. С. Баланс и трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв центра Нечерноземной зоны // Органическое вещество пахотных почв. М., 1987. С. 12—22.
77. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв. М.: Прогресс, 1970. 592 с.
78. Егоров В. В. Актуальные вопросы повышения плодородия дерново-подзолистых почв и задачи совещания // Тр. Горьк. СХИ. 1973. Т. 52. С. 5—9.
79. Егоров В. В. Некоторые вопросы повышения плодородия почв // Почвоведение. 1981. № 10. С. 71—79.
80. Заболоцкая Т. Г., Лютоева М. Н. Послеуборочные остатки полевых культур, их разложение и влияние на содержание подвижных форм азота в некоторых подзолистых почвах // Агрохимия. 1974. № 2. С. 3—7.
81. Завалишин Л. А. Исследования генезиса серых лесных и подзолистых почв. Л.: Наука, 1973. 300 с.
82. Зайцев В. Я. Особенности развития корневой системы гороха в смешанных посевах // Тр. Ленингр. СХИ. 1977. Т. 330. С. 22—24.
83. Зезин Н. Н. Роль промежуточных культур в балансе органического вещества эродированных почв // Почвенно-агрохимические проблемы земледелия на Урале: Тез. докл. зонал. науч.-практ. конф. Свердловск, 1986. С. 32.
84. Зонн С. В. О некоторых проблемах взаимодействия леса и почвы // Биогеоценологические исследования степных лесов, их охрана и рациональное использование. Днепропетровск, 1982. С. 3—22.
85. Зонн С. В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 207 с.

86. Иванов А. П. Рожь. Л.; М.: Сельхозиздат, 1961. 198 с.
87. Иванов Н. А. Почвенно-агрохимический потенциал как основа интенсивного земледелия // Почвенно-агрохимические проблемы земледелия на Урале: Тез. докл. зонал. науч.-практ. конф. Свердловск, 1986. С. 1—2.
Иванов Н. А. Влияние условий минерального питания и погоды на формирование корневой системы растений // Почвенно-агрохимические проблемы земледелия на Урале: Тез. докл. зонал. науч.-практ. конф. Свердловск, 1986. С. 45—46.
89. Иванов Н. А. Интенсивная технология и эффективность химизации земледелия Свердловской области // Значение химизации земледелия в интенсивных технологиях: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1987. С. 7—8.
90. Иванов Н. А., Сигнаевский Р. К., Сигнаевская В. Е. Баланс гумуса в почвах лесостепной зоны Свердловской области // Достижения науки и практики в решении Продовольственной программы на Среднем Урале: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1985. С. 5—6.
91. Иванова Е. Н. Почвы южной тайги Зауралья // Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1954. Т. 43. С. 5—128.
92. Ивлев А. М., Крупская Л. Т., Гольц Е. Ф. Гумус как показатель почвенного плодородия пахотных земель Хабаровского края // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. 1983. № 15/3. С. 35—38.
93. Калиновский А. В. Влияние систематического применения органических и минеральных удобрений на содержание и качественный состав гумуса дерново-подзолистых почв // Тр. Белорус. с.-х. акад. 1983. № 102. С. 7—13.
94. Каптерев Л. М. Урал (географическая характеристика) // Природа Урала. Свердловск, 1936. С. 5—30.
95. Карманов И. И. Окультуривание дерново-подзолистых почв в условиях высокой интенсификации земледелия // Оптимизация свойств почв Нечерноземья и повышения их плодородия. М., 1983. С. 65—72.
96. Карманова Л. А. Общие закономерности соотношения и распределения форм железа в основных генетических типах почв // Почвоведение. 1975. № 2. С. 49—62.
97. Карпачевский Л. А. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 261 с.
98. Каталог районированных сортов сельскохозяйственных культур на 1982 г. Свердловск, 1981. 64 с.
99. Кауричев И. С., Ганжара Н. Ф., Хохлов В. Г. Содержание и состав гумуса в дерново-подзолистых почвах Смоленской области // Изв. ТСХА. 1986. № 4. С. 49—56.
100. Ким В. Т. Влияние поукосных культур на плодородие почвы // Меры по реализации Продовольственной программы в колхозах и совхозах Свердловской области: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1983. С. 37—38.
101. Кирюшин В. И., Лебедева И. И. Опыт изучения изменения органического вещества черноземов Северного Казахстана при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1972. № 8. С. 128—133.
102. Кирюшин В. И., Лебедева И. Н. Изменение содержания гумуса и азота в почвах черноземной зоны в результате сельскохозяйственного использования // Особенности формирования и использования почв Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск. 1982. С. 180—191.
103. Клемяшов Т. Г. Влияние удобрений на накопление корневых и пожнивных остатков культурами зерно-картофельного севооборота на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 1971. № 5. С. 19—24.
104. Кленов Б. М., Корсунова Т. М. Гумус некоторых типов почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1976. 157 с.
105. Кобылянский В. Д. Рожь. М.: Колос, 1982. 271 с.
106. Ковда В. А. Проблемы биологической и хозяйственной продуктивности суши // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л., 1969. С. 8—24.
107. Ковда В. А. Биосфера, почвы и их использование // Материалы 10 Международного конгресса почвоведов. М., 1974. 128 с.

108. Ковда В. А. Управление продуктивностью экосистем // Почвоведение. 1980. № 5. С. 7—20.
109. Ковда В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. М.: Наука, 1981. 182 с.
110. Ковда В. А. Советское почвоведение на службе сельского хозяйства СССР (Доклад на 6 съезде ВОП). Пущино, 1981. 46 с.
111. Ковда В. А. Сохранить и рационально использовать черноземы СССР. Пущино, 1983. 27 с.
112. Ковда В. А. Почвенный покров планеты и жизнь // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1986. С. 181—189.
113. Когут Б. М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования типичного мощного чернозема на изменение содержания и запасов гумуса // Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения. 1986. № 76. С. 59—62.
114. Колесников Б. П. Естественно-историческое районирование лесов (на примере Урала) // Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на 5 Всемир. конгр. М., 1960. С. 51—57.
115. Колосов И. И. Поглотительная деятельность корневых систем растений. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 388 с.
116. Кононова М. М. Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 390 с.
117. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
118. Кононова М. М. Органическое вещество и плодородие почвы // Почвоведение. 1984. № 8. С. 6—20.
119. Кононова М. М., Мишустин Е. Н., Штина Э. А. Микроорганизмы и трансформация органического вещества в почве // Тезисы докладов 4 делегатского съезда ВОП. Кн. 2, ч. 1. Алма-Ата, 1970. С. 186—188.
120. Копцик Г. Н. Минерализация и гумификация растительных остатков в почвах лесной зоны: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985.
121. Коротич А. И. Влияние способов основной обработки светло-каштановых почв на биологическую активность и токсичность пахотного слоя // Тр. Волгогр. СХИ. 1985. № 90. С. 61—64.
122. Кошельков С. П. О формировании и подразделении подстилки в хвойных южнотаежных лесах // Почвоведение. 1961. № 10. С. 19—29.
123. Кравченко В. И. Некоторые вопросы прогнозирования уплотнения почв машинами // Влияние сельскохозяйственной техники на почву. М., 1981. С. 10—13.
124. Красильников П. К. Методика полевого изучения подземных частей растений. Л.: Наука, 1983. 207 с.
125. Красовская И. В. Корневая система растений и рост ее в зависимости от внешних условий // Тр. Бюро по прикладной ботанике и генетике, селекции. 1925. Т. 15, вып. 5. С. 57—114.
126. Красовская И. В. Обзор работ по морфологии и физиологии корней: корневая система и требовательность растений к почве // Тр. по прикладной ботанике, генетике, селекции. 1928. Т. 18, вып. 5. С. 3—121.
127. Красовская И. В. Анатомо-морфологические закономерности в ходе заложения и в строении корневых систем хлебных злаков // Уч. зап. Саратов. гос. ун-та им. Н. Г. Чернышевского. 1952. Т. 35. С. 15—70.
128. Красуский Ю. Г., Дощенникова О. А., Таршис Г. И. Влияние повышенных доз органических удобрений на рост и развитие трех сортов ярового ячменя // Значение химизации земледелия в интенсивных технологиях: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1987. С. 19—20.
129. Красуский Ю. Г., Сединкин В. С., Таршис Г. И. Влияние органических удобрений на морфогенез и продуктивность яровой пшеницы сорта «Аркас» в условиях Среднего Урала // Значение химизации земледелия в интенсивных технологиях: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1987. С. 21—22.
130. Круглов Л. В., Прошляков А. А. Восполнение гумуса в пахотных почвах Нечерноземной полосы // Почвоведение. 1979. № 5. С. 49—52.
131. Кувшинова К. В. Климат // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 82—117.

132. Кузнецова И. В. Методы изучения корневых систем растений // Агрофизические методы исследования почв. М., 1966. С. 212—225.

133. Кузьменко А. С., Примак И. Д. Роль пожнивно-корневых остатков в пополнении органического вещества и элементов минерального питания растений в почве // Земледелие. Киев, 1989. № 64. С. 10—15.

134. Кулай Г. А. Микрофлора ризосферы сосны и березы // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. 1966. Вып. 55. С. 79—84.

135. Кулай Г. А. Микробиологическая активность горно-лесных почв южной тайги Урала и Зауралья // Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. 1972. Вып. 65. С. 164—187.

136. Кулаковская Т. Н. Агрохимические основы получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в западной части Нечерноземной зоны // Агрохимия. 1976. № 3. С. 3—13.

137. Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск: Ураджай, 1978. 129 с.

138. Кулаковская Т. Н. Химизация земледелия и расширенное воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1987. № 1. С. 5—16.

139. Кулаковская Т. Н., Костюкович Л. И. Влияние систем удобрения на содержание и состав гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы // Агрохимия. 1984. № 8. С. 57—62.

140. Курочкина Е. П., Крылов Э. Ф. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зернопропашном севообороте при различных приемах основной обработки почвы // Достижения науки и практики в решении Продовольственной программы на Среднем Урале: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1985. С. 25.

141. Курчеев П. А., Багаутдинов Ф. Я. Особенности изменения органического вещества в почвах Южного Предуралья при сельскохозяйственном использовании // Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВОП. Ч. 2. Ташкент, 1985. С. 41.

142. Кылли Р., Ингермаа М. Запасы и состав опада и подстилок в некоторых типах произрастания леса // Сб. науч. тр. ЭСХА. 1971. № 65. С. 92—106.

143. Лактионов Н. И. Интенсификация земледелия и проблемы гумуса почв // Тр. Харьк. СХИ. 1985. № 314. С. 3—8.

144. Лактионов Н. И., Дегтярев В. В., Карпенко И. В. Влияние преобразований органической части черноземов Украины в процессе их сельскохозяйственного использования на их плодородие // Научные основы и практические приемы повышения плодородия почв Урала и Поволжья: Тез. докл. II науч.-произв. конф. почвоведов, агрохимиков и земледелов Урала и Поволжья. Уфа, 1988. С. 49—50.

145. Лебедев Б. А. Почвы Свердловской области. Свердловск: Свердлгиз, 1949. 146 с.

146. Лебедев Б. А. Почвы Нечерноземной полосы Урала. Свердловск, 1956. 79 с. (Тр. Ин-та биологии УФАН СССР; Вып. 7).

147. Лебедев Б. А. Свердловская область // Агрохимическая характеристика почв СССР. М., 1964. С. 97—137.

148. Левин Ф. И. Методика количественного учета органической массы сельскохозяйственных культур при изучении биологического круговорота азота и зольных элементов // Ботан. журн. 1964. Т. 49, № 8. С. 1180—1183.

149. Левин Ф. И. Количественный учет массы корней сельскохозяйственных культур // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. Л., 1968. С. 120—123.

150. Левин Ф. И. Окультуривание подзолистых почв. М.: Колос, 1972. 264 с.

151. Левин Ф. И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия. 1977. № 8. С. 36—42.

152. Левин Ф. И. Продуктивность культурных почв и пути ее увеличения // Экология и земледелие. М., 1980. С. 82—90.

153. Левин Ф. И., Диваченко В. С., Белозеров С. М. Увеличение продуктивности дерново-подзолистых почв при введении промежуточных посевов // Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. 1985. № 2. С. 39—45.

154. Лейн З. Я. К вопросу о формах связи гумуса с минеральной частью почв // Почвоведение. 1940. № 10. С. 41—57.

155. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 174 с.

156. Ломакин М. М. Уплотненные посевы — основа охраны и высокой продуктивности пашни // Сельское хозяйство за рубежом. 1983. № 12. С. 2—11.

157. Любарская Л. С. Влияние навоза и минеральных удобрений при длительном систематическом применении на урожай культур и плодородие почвы // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М., 1960. С. 430—470.

158. Любарская Л. С. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и урожай культур // Тр. ВИУА: Удобрение и плодородие почв. 1974. Вып. 2. С. 139—156.

159. Люжин М. Ф. Влияние условий разложения на процессы минерализации растительных остатков и изменение их химического состава // Уч. зап. Ленингр. СХИ. 1970. Т. 137, вып. 4 .С. 85—91.

160. Лыков А. М. Основные итоги исследований по проблеме органического вещества дерново-подзолистой почвы в интенсивном земледелии // Изв. ТСХА. 1976. Вып. 2. С. 8—20.

161. Лыков А. М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. М.: Россельхозиздат, 1982. 143 г.

162. Макаров И. Б. Распределение корней культурных растений и органических остатков в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы // Биологическая продуктивность почв и ее увеличение в интересах народного хозяйства: Тез. докл. Всесоюз. совещ. 18—20 декабря 1979 г. М., 1979. С. 97—98.

163. Максимова В. Ф., Драгунова Г. Б. Запас, структура и динамика надземной фитомассы в сообществах техногенных ландшафтов Верхней Колымы // Биологические проблемы Севера: 6 симпозиум. Вып. 3. Ботаника. Якутск, 1974. С. 132—136.

164. Макунина Г. С. Дегумификации почв в агроландшафтах гумидных регионов // Вестн. МГУ. География. М., 1986. 16 с. Деп. в ВИНИТИ 2.12.86, № 8196 — В.

165. Мещеряков П. В. Структуры и изменчивость корневой системы озимой ржи / Свердл. гос. пед. ин-т. Свердловск, 1984. 21 с. Деп. в ВНИИТЭИсельхоз, № 362—84.

166. Мещеряков П. В. Накопление и распределение в почве биомассы подземных органов культурных растений // Достижения науки и практики в решении Продовольственной программы на Среднем Урале: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1985. С. 20.

167. Мещеряков П. В. Резервы органического вещества в почвах агроценозов Среднего Урала // Тезисы докладов областной научной конференции молодых ученых и специалистов «Научные основы охраны природы Урала». Свердловск, 1985. С. 36—37.

168. Мещеряков П. В. К вопросу о средообразующей роли корней злаков в агрофитоценозах // Ботанические исследования на Урале: Информ. материалы. Свердловск, 1986. С. 55.

169. Мещеряков П. В. Запасы и структура подземной фитомассы в лесных экосистемах Зауралья // Ботанические исследования на Урале. Информ. материалы. Свердловск, 1988. С. 67.

170. Мещеряков П. В., Горячева Т. А., Прокопович Е. В. Влияние видов механической обработки на гумусное состояние пахотных серых лесных почв Среднего Урала // Актуальные проблемы охраны и рационального использования природных растительных ресурсов: Тез. докл. науч.-практ. конф. Уфа, 1987. С. 43.

171. Мещеряков П. В., Таршис Г. И. Структурные особенности придаточных корней зерновых злаков в разных экологических условиях // Совре-

менные проблемы экологической анатомии растений: Материалы I Всесоюз. совещания по экологической анатомии растений. Ташкент, 1987. С. 132—133.

172. Мингалев С. К., Шкаев В. Н. Минимализация основной обработки почвы под зерновые культуры // Достижения науки и практики в решении Продовольственной программы на Среднем Урале: Тез. докл. науч.-практ. конф. Свердловск, 1985. С. 23.

173. Минина Т. Н. Гумус дерново-подзолистой почвы при ее ускоренном окультуривании // Бюл. Почв. ин-та ВАСХНИЛ. 1983. № 32. С. 67—70.

174. Мирошниченко Ю. М. Закономерности распределения надземной и подземной растительной массы в фитоценозах Евразиатской степной области // Ботан. журн. 1956. Т. 51, № 8. С. 1140—1148.

175. Михайлина В. И. Роль растительных остатков и органических удобрений в повышении содержания гумуса в почве // Достижения сельскохозяйственной науки и практики. Сер. 1. Земледелие и растениеводство. М., 1982. С. 46—55.

176. Михайловская И. С. Корни и корневые системы растений. М.: Изд. МГПИ им. В. И. Ленина, 1971. 137 с.

177. Мишустин Е. Н. Зоны природы В. В. Докучаева и их отражение в ценозах почвенных микроорганизмов // Почвоведение. 1983. № 6. С. 22—38.

178. Мишустин Е. Н. Влияние идей В. В. Докучаева на развитие почвенной микробиологии // 100 лет генетического почвоведения. М., 1986. С. 68—80.

179. Моргун Л. В. Органическое вещество дерново-подзолистых почв агроценозов Валдая: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1979.

180. Мукатанов А. Х., Халиуллина Л. Р., Шакирова Р. Х. Гумус серых лесных почв // Повышение плодородия почв в условиях интенсивной системы земледелия. Уфа, 1986. С. 33—41.

181. Мяги Х., Росс Ю. Фитометрические характеристики и фотосинтетическая продуктивность посева ячменя // Фотосинтетическая продуктивность растительного покрова. Тарту, 1969. С. 102—173.

182. Неклюдов А. Ф. Влияние предшественника на развитие корневой ситемы яровой пшеницы // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1971. № 3. С. 33—38.

183. Нечаева Н. Т. Описание и структура экосистем. Низменные Каракумы, стационар Каррыкуль // Продуктивность растительности аридной зоны Азии. Л., 1977. С. 90—95.

184. Низких Э. К. Влияние различных факторов на скорость минерализации растительных остатков в почвах // Баланс органического вещества и плодородие почв Восточной Сибири. Новосибирск, 1985. С. 71—79.

185. Никитин Б. А. Опыт изучения сезонной динамики гумуса // Тр. Горьк. СХИ. 1972. Т. 49. С. 114—121.

186. Никифоренко Л. И. К вопросу интерпретации данных изменения содержания гумуса в почве корнеобитаемого слоя в связи с дифференциацией его под влиянием безотвальных обработок // Тезисы докладов конференции «Повышение эффективности использования удобрений и плодородия почв в УССР». Харьков, 1985. С. 178.

187. Ногина Н. А. Влияние пород на подзолообразование в горной части Среднего Урала // Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1948. Т. 28. С. 105—120.

188. Орлов Д. С. Кинетическая теория гумуфикации и схема вероятного строения гуминовых кислот // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1977. № 9. С. 5—16.

189. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.

190. Орлов Д. С., Фокин А. Д., Гришина Л. А. Развитие исследований органического вещества почв // 100 лет генетического почвоведения. М., 1986. С. 80—87.

191. Павлова Т. С. Изменение дерново-подзолистых супесчаных почв междуречья Тавды — Азанки под влиянием окультуривания // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. 1966. Вып. 55. С. 103—110.

192. Павлова Т. С., Дергачева М. И. Запасы и химические свойства подстилок сосновых лесов Урала // Исследование почв Сибири. Новосибирск, 1977. С. 164—172.
193. Павлова Т. С. Взаимосвязь между растительностью и почвой в сосняках средней тайги Урала // Тезисы докладов 5 делегатского съезда ВОП. Минск, 1987. Вып. 5. С. 65—67.
194. Панкова Н. А. Учет надземной массы и корней растений // Агрохимические методы исследования почв: Руководство для полевых и лабораторных исследований. М., 1954. С. 45—46.
195. Панкова Н. А. Природа органического вещества некоторых почв Забайкалья // Микроорганизмы и органическое вещество почв. М., 1961. С. 183—208.
196. Панкова Н. А. Определение гуминовых кислот, массы корней и растительных остатков в почве // Агрохимические методы исследования почв. М., 1965. С. 59—63.
197. Переверзев В. Н. Биохимия гумуса и азота почв Кольского полуострова. Л.: Наука, 1987. 303 с.
198. Переверзев В. Н., Алексеева Н. С. Органическое вещество в почвах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980. 207 с.
199. Пестряков В. К. Изменение содержания и состава гумуса дерново-подзолистых почв при сельскохозяйственном использовании // Тр. Сев.-Зап. НИИ с.-х. 1970. Вып. 18. С. 36—47.
200. Пестряков В. К. Окультуривание почв Северо-Запада. Л.: Колос, 1977. 343 с.
201. Петербургский Л. В., Садовская Э. Н., Харламов Е. П. Баланс органического вещества в пахотных почвах РСФСР и перспективы его улучшения // Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВОП. Ташкент, 1985. Ч. 2. С. 19.
202. Петуховский С. Л. Некоторые особенности в развитии корневой системы сортов яровой пшеницы в связи с селекцией // Науч.-техн. бюл. СО ВАСХНИЛ. 1983. № 22. С. 7—8.
203. Плотникова Т. А., Орлова Н. Е. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием сельскохозяйственного освоения // Генезис и плодородие земледельческих почв. Горький, 1983. С. 19—22.
204. Плотникова Т. А., Орлова Н. Е. Оптимизация гумусного состояния пахотных дерново-подзолистых почв // Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВОП. Ташкент, 1985. Ч. 2. С. 15.
205. Плотникова Т. А., Орлова Н. Е., Баканина Л. Г. Изменение гумусового состояния дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почв под влиянием окультуривания // Органическое вещество пахотных почв. М., 1987. С. 76—84.
206. Поздняков Л. К. Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы. Л., 1975. Вып. 1. С. 43—55.
207. Пономарева В. В. Цвет почв, гумус и плодородие // Актуальные вопросы изучения почв и почвенного покрова Нечерноземной зоны. М., 1984. С. 38—45.
208. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л., 1975. 105 с.
209. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.
210. Прозина М. Н. Ботаническая микротехника. М.: Высш. шк., 1960. 206 с.
211. Прокопович Е. В. Свойства подстилок основных типов леса Висимского заповедника // Биогеоценологические исследования на Урале. Свердловск, 1982. С. 187—197.
212. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв / Составитель К. В. Дьяконова. М., 1984. 96 с.
213. Ржанникова Г. К. Сравнительная характеристика свойств почв

сосновых и березовых лесов южной тайги Зауралья // Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. 1972. Вып. 85. С. 108—118.

214. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 251 с.

215. Ромашкевич А. И., Герасимова М. И. Микроморфология и диагностика почвообразования. М.: Наука, 1982. 126 с.

216. Роскошанский А. Д. Пожнивно-корневые остатки и их роль в изменении почвенного плодородия // Агрохимия. 1976. № 1. С. 95—100.

217. Рубин С. С., Опрышко В. П. Роль растительных остатков в формировании плодородия почвы // Плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Киев, 1985. С. 29—37.

218. Рубинштейн М. И. К вопросу о скорости разложения органического вещества целинных черноземов Северного Казахстана при их освоении // Почвоведение. 1959. № 11. С. 89—90.

219. Рудай И. Д. Агроэкономические проблемы повышения плодородия почв. М.: Россельхозиздат, 1985. 255 с.

220. Рыжков Г. Г., Степанов А. Ф. Влияние способов посева на формирование кормовой системы люцерно-злаковых травосмесей // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1982. № 2. С. 47—52.

221. Самцевич С. А. Гелеобразные выделения корней растений и их влияние на микроорганизмы // Физиолого-биохимические основы взаимного влияния растений в фитоценозе. М., 1966. С. 254—261.

222. Сау А., Калаус М. Роль многолетних трав в формировании современной экологии: Материалы республ. конф. 11—13 дек. 1978 г. Тарту, 1978. С. 49—51.

223. Свифт М. Дж., Санчес П. А. Плодородие тропических почв: биологические аспекты управления и поддержания продуктивности земледелия // Природа и ресурсы (ЮНЕСКО). 1984. Т. 20, № 4. С. 2—10.

224. Селевцев В. Ф. Применение агрохимических анализов в планировании системы удобрений: Учеб. пособие для слушателей фак-та повышения квалификации. Пермь, 1987. 70 с.

225. Сигида В. П., Чапалда Н. И. Значение корневых и пожнивных остатков клевера и гороха в пополнении почвы питательными веществами // Корневая ситема и продуктивность сельскохозяйственных растений. Киев, 1967. С. 199—202.

226. Сигнаевский Р. К., Иванов Н. А. Изменение серых лесных почв при сельскохозяйственном использовании // Серые лесные почвы Предуралья и их рациональное использование. Свердловск, 1982. С. 91—103.

227. Солодова Т. А., Ганжара Н. Ф. Сезонная динамика содержания органических веществ в дерново-подзолистых почвах // Изв. ТСХА. 1984. Вып. 5. С. 82—89.

228. Сорокина Г. А. Характер накопления органических остатков и гумуса под сельскохозяйственными культурами на выщелоченных черноземах Прибельской лесостепи // Почвы Южного Урала и Поволжья. Уфа, 1960. С. 207—214.

229. Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 280 с.

230. Станков Н. З. Корневая система растений. М.: Знание, 1969. 32 с.

231. Стулин А. Ф. Накопление корневых и пожнивных остатков полевых культур в почве и содержание в них питательных веществ // Агрохимия. 1981. № 8. С. 70—74.

232. Суворов А. К., Градусов Б. П. О составе коллоидов целинных и пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв // Почвенные процессы и удобрения в Нечерноземной зоне. Ленинград; Пушкин, 1979. С. 113—125. (Тр. Ленингр. с.-х. ин-та; Т. 383).

233. Сурков А. И. Содержание и качественный состав гумуса целинных и окультуренных серых лесных почв // Тр. Горьк. СХИ. 1981. Т. 152. С. 30—39.

234. Сучалкина М. И. О темпах накопления и разложения органиче-

ских веществ почвы в травопольном севообороте в зоне неустойчивого увлажнения // Агробиология. 1951. № 4. С. 86—91.

235. Тарановская М. Г. Методы изучения корневых систем. М.: Сельхозиздат, 1957. 261 с.

236. Таршис Г. И. Подземные органы травянистых многолетников, их структура и изменчивость: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Свердловск, 1980.

237. Таршис Г. И., Мещеряков П. В. Почвенные условия и структура подземных органов однолетних злаков в агроценозах // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск, 1987. С. 83—92.

238. Терешенкова И. А. Влияние сельскохозяйственного освоения дерново-подзолистых почв на состояние их органического вещества // Вестн. МГУ. 1986. № 2. С. 97—103.

239. Техника анатомических исследований культурных растений: Метод. указания. Л.: ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова, 1981. 65 с.

240. Титова Е. Н. Влияние свойств почв и удобрений на качество зерна озимой ржи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1969.

241. Титова Н. А., Куваева Ю. В. Состав органического вещества тонкодисперсных частиц дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности // Органическое вещество пахотных почв. М., 1987.

242. Топычканов А. Я. Агрофизическая оценка пахотных земель совхоза «Бородулинский» Свердловской области // Современная наука и передовой опыт — сельскому хозяйству: Тез. докл. науч.-произв. конф. Свердловск, 1980. С. 60—61.

243. Трепачев Е. П., Алейникова Л. Д. Влияние пожнивно-корневых остатков и неучтенного органического вещества люцерны и костра безостого на плодородие почвы // Почвоведение. 1982. № 4. С. 120—127.

244. Трушин В. Ф., Саночкин И. П., Красных В. Г. и др. Подсевные культуры в Свердловской области // Тр. Свердл. СХИ. 1970. Т. 19. С. 76—79.

245. Трушин В. Ф., Ярин В. В. Промежуточные культуры в зерновых севооборотах на Среднем Урале // Качественный состав и повышение плодородия почв в Предуралье. Пермь, 1983. С. 80—87.

246. Туев Н. А. Приемы оптимизации микробиологических процессов гумусообразования при интенсивном земледелии // Агропочвоведение и плодородие почв: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. 16—18 дек. 1986 г. Л., 1986. Ч. 2. С. 36.

247. Тюрин И. В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: Учение о почвенном гумусе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1937.

248. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. 320 с.

249. Устименко А. С., Данильчук П. В., Гвоздиковская А. Т. Корневые системы и продуктивность сельскохозяйственных растений. Киев: Урожай, 1975. 368 с.

250. Устименко Г. В., Попов В. П. Особенности формирования урожая смешанных посевов зерновых и бобовых культур // С.-х. биология. 1983. № 11. С. 29—31.

251. Уткин А. И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Итоги науки и техники. Сер. Лесоведение и лесоводство. М., 1975. Т. 1. С. 9—189.

252. Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменение под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Свердловск, 1969. 151 с. (Тр. Ин-та биологии УФАН СССР; Вып. 63).

253. Фирсова В. П. Почвы таежной зоны Урала и Зауралья: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 1971.

254. Фирсова В. П. Почвы таежной зоны Урала и Зауралья. М.: Наука, 1977. 176 с.

255. Фирсова В. П. Почвенный покров Бисертского леспромхоза // Научные основы ведения лесного хозяйства на примере Бисертского опытного леспромхоза. Свердловск, 1984. С. 30—48.

256. Фирсова В. П. Гумус бурых горно-лесных почв Урала // Современные проблемы гумусообразования. Сыктывкар, 1986. С. 105—113.
257. Фирсова В. П., Канев В. В. Мелиоративные особенности избыточно увлажненных почв Зауралья. Свердловск, 1988. 148 с.
258. Фирсова В. П., Кулай Г. А. Микрофлора горно-лесных почв Урала // Динамика микробиологических процессов в почве: Материалы симпозиума. Таллинн, 1974. Ч. 2. С. 147—151.
259. Фирсова В. П., Павлова Т. С. Биомасса напочвенного покрова, запасы, свойства подстилок сосновых лесов Урала // Биологическая продуктивность почв и ее увеличение в интересах народного хозяйства. М., 1979. С. 173—174.
260. Фирсова В. П., Павлова Т. С. Лесная подстилка как показатель лесорастительной оценки почв // Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Пути и методы лесорастительной оценки почв и повышения их продуктивности». Пушкино, 1980. С. 192—194.
261. Фирсова В. П., Павлова Т. С. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах. М.: Наука, 1983. 166 с.
262. Фирсова В. П., Сигнаевский Р. К. Сравнительная характеристика свойств серых лесных почв Предуральской и Зауральской провинций в пределах Свердловской области // Серые лесные почвы Предуралья и их рациональное использование. Свердловск, 1982. С. 59—73.
263. Фирсова В. П., Красуский Ю. Г., Мещеряков П. В. Оценка гумусного состояния пахотных почв как основа их рационального использования. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 75 с.
264. Фирсова В. П., Мещеряков П. В., Горячева Т. А. Оценка видов основной обработки почвы как способа регулирования ее плодородия // Научно-агрохимические проблемы земледелия на Урале: Тез. докл. зонал. науч.-практ. конф. Свердловск, 1986. С. 21—22.
265. Фирсова В. П., Павлова Т. С., Дедков В. С. и др. Почвы и лесная растительность Среднего Урала // Почвоведение. 1987. № 11. С. 127—137.
266. Фирсова В. П., Павлова Т. С., Ужегова И. А. и др. Серые лесные почвы Предуралья, их распространение и свойства // Серые лесные почвы Предуралья и их рациональное использование. Свердловск, 1982. С. 3—44.
267. Фирсова В. П., Сигнаевский Р. К., Прокопович Е. В. и др. Влияние окультуривания серых лесных почв Зауралья на состав гумусовых веществ // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск, 1987. С. 5—20.
268. Фокин А. Д. Сравнительное изучение участия наземных и корневых растительных остатков в формировании и обновлении почвенного гумуса // Тезисы докладов 5 делегатского съезда ВОП. Минск, 1977. Ч. 2. С. 45—46.
269. Фокин А. Д., Черникова И. Л., Ибрагимов К. Ш. и др. Роль растительных остатков в обеспечении растений зольными элементами на подзолистых почвах //Почвоведение. 1979. № 6. С. 53—61.
270. Францессон В. А., Исаенко Н. П., Горбунова С. П. Сохранение и повышение плодородия при освоении целинных и залежных земель. М.: Сельхозгиз, 1957. 178 с.
271. Фридланд Е. В. Влияние окультуривания на органическое вещество почв // Агрохимия. 1985. № 3. С. 112—123.
272. Фурст Г. Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. М.: Наука, 1979. 155 с.
273. Хазиев Ф. Х. Концептуальная модель формирования ферментативной активности почвы // Почвоведение. 1979. № 12. С. 125—130.
274. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 203 с.
275. Хазиев Ф. Х. Проблемы почвенного плодородия в условиях интенсивного земледелия // Повышение плодородия почв в условиях интенсивной системы земледелия. Уфа, 1986. С. 5—16.

276. Хазиев Ф. Х., Курчеев П. А., Мукатанов А. Х. Ресурсы гумуса черноземов и перспективы создания бездефицитного гумусового баланса // Роль черноземов Башкирии в решении Продовольственной программы. Уфа, С. 11—13.

277. Хаируллин Я. К. Динамика накопления корневой массы сельскохозяйственными растениями в почве в полевом севообороте // Сб. науч.-исслед. работ Азово-Черноморск. с.-х. ин-та. 1948. Вып. 12. С. 37—50.

278. Хан Д. В. Состав перегнойных веществ и их связь с минеральной частью почвы // Почвоведение. 1959. № 1. С. 10—18.

279. Хан Д. В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. М.: Наука, 1969. 142 с.

280. Хренова Г. С. Микрофлора вырубок в некоторых типах леса Свердловской области // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. 1966. Вып. 55. С. 93—102.

281. Цыпленков В. П., Терешенкова И. А. Новые представления о трансформации органического вещества почвы в связи с ее сельскохозяйственным использованием // Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВОП. Ташкент, 1985. Ч. 2. С. 45.

282. Чикишев А. Г. Некоторые особенности рельефа и геоморфологическое районирование Среднего Урала // Бюл. МОИП. Отд. геологии. 1958. Т. 33, № 6. С. 119—126.

283. Чикишев А. Г. Физико-географическое районирование Урала // Бюл. МОИП. Отд. биологии. 1966. Т. 18. С. 7—84.

284. Чикишев А. Г. Природное районирование // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 305—349.

285. Шевцова Л. К., Сизова Д. Н. Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество и соединения азота в почвах разного типа // Удобрение и плодородие почв. М., 1974. С. 20—58. (Тр. ВИУА; Вып. 2).

286. Шишов Л. Л., Дьяконова К. В., Титова Н. А. Органическое вещество и плодородие почв // Органическое вещество пахотных почв. М., 1987. С. 5—12.

287. Шишов Л. Л., Ефремов В. В. Научные основы управления плодородием почв Нечерноземной зоны // Тр. Всерос. НИИ с.-х. использования мелиоративных земель. 1985. № 7. С. 121—127.

288. Штина Э. А. Сообщества водорослей основных типов почв СССР и их диагностическое значение // Ботан. журн. 1953. Т. 44, № 8. С. 341—350.

289. Щапова Л. Н., Бессарабова А. А. Влияние антропогенного воздействия на микрофлору и гумусное состояние почв // Тезисы докладов 8 съезда ВОП. Новосибирск, 1989. Кн. 2. С. 344.

290. Щербаков А. П., Рудай И. Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. М.: Колос, 1983. 189 с.

291. Щетинина Л. Л., Каутская Л. Б., Гримашевич Н. М. Изучение гумусного состояния светло-серой лесной почвы при многолетнем внесении удобрений // Тезисы докладов конференции «Повышение эффективности использования удобрений и плодородия почв в УССР». Харьков, 1985. С. 129.

292. Юмагулова А. Н. Плодородие неполивных почв Казахстана // Земледелие. 1986. № 3. С. 27—28.

293. Юркин С. Н., Пименов Е. А. Роль корневых и пожнивных остатков зерновых культур в аккумуляции азота, фосфора и калия // Агрохимия. 1977. № 11. С. 145—152.

294. Ястребов Е. В. Опыт геоморфологического районирования Урала // Тр. Западно-Урал. фил. ГО СССР. Свердловск, 1960. Вып. 1 (3). С. 25—36.

295. Braun W., Leman A., Taubert H. Pflanzenanatomisches Praktikum. Gena, 1979. 311 p.

296. Buyanovsky L. A., Wagner L. H. Post-harvest residue input to cropland // Plant and Soil. 1986. V. 93, N 1. P. 57—65.

297. Horwith Bruce. A role for intercropping in moden agriculture // Bioscience. 1985. V. 35, N 5. P. 286—291.

298. Odum H. T. Trophic structure and productivity of Silver springs, Florida // Ecol. Monogr. 1957, V. 27, N 1. P. 55—112.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

Глава 1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ . 5

Глава 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ 10

Глава 3. ПРИРОДА И СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ 19

3.1. Морфологическое строение и физико-химические свойства лесных почв 19
3.2. Фитомасса подземных органов растений и запасы растительных остатков в почвах лесных экосистем 22
3.3. Содержание и запасы гумусовых веществ в серых лесных почвах 29
3.4. Фракционно-групповой состав гумуса целинных серых лесных почв 32
3.5. Структура запасов органического вещества в почвах лесных экосистем 39

Глава 4. ВЛИЯНИЕ ОСВОЕНИЯ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ 42

4.1. Роль пожнивно-корневых остатков в накоплении органического вещества 44
4.2. Агрохимические свойства почв 48
4.3. Гумусное состояние «разновозрастной» пашни 49
4.4. Влияние длительности сельскохозяйственного использования почв на их минеральную часть . . 61

Глава 5. ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПАХОТНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ «УДАРНЫХ» ДОЗ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 77

5.1. Пожнивно-корневые остатки как источник пополнения запасов почвенного органического вещества 78
5.2. Содержание, запасы гумуса и азота в зависимости от механической обработки почвы . . . 97
5.3. Фракционно-групповой состав гумуса пахотной серой лесной почвы 102

Глава 6. ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ 114

6.1. Физико-химические свойства почв . 115
6.2. Гумусное состояние почв . . . 117

Глава 7. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТОВ . 123

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . 136

Фирсова Вера Павловна
Красуский Юрий Георгиевич
Мещеряков Павел Викторович
Горячева Тамара Алексеевна

ГУМУС И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Рекомендовано к изданию ученым советом Института экологии растений и животных и НИСО УрО РАН по плану выпуска 1993 г.

Редактор **А. И. Пономарева**
Обложка художника **М. Н. Гарипова**
Технический редактор **Е. М. Бородулина**
Корректоры **Г. Н. Старкова, А. В. Курленко**

НИСО № 127(91)—1812. Сдано в набор 27.04.92. Подписано в печать 31.08.92. Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 11,6. Тираж 600. Заказ 170. Цена с — 1812.

Институт экологии растений и животных. 620008, Екатеринбург, ГСП-219, ул. 8 Марта, 202.
Типография изд-ва «Уральский рабочий». Екатеринбург, ул. Тургенева, 13.