

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кравцов Павел Григорьевич

**Органическое вещество почв различных угодий (на примере миграционно-
мицелярных черноземов Воронежской области)**

Магистерская диссертация

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
д. с.-х. н., проф. А. И. Попов

_____ 2017
« __ » _____

Заведующий кафедрой:
д.с.-х.н., проф. Б. Ф. Апарин

_____ 2017
« __ » _____

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

Оглавление	2
Введение.....	3
Глава 1. Характеристика качественного состава почвенного органического вещества (литературный обзор).....	4
1.1. Методы характеристики качественного состава почвенного органического вещества.....	6
1.2. Гумусовый профиль черноземов и его изменение в результате антропогенного воздействия.....	7
Глава 2. Объекты исследования.	18
2.1. Характеристика исследуемого участка.....	19
2.1.1. Климат.....	19
2.1.2. Рельеф и гидрология.....	20
2.1.3. Геология и почвообразующие породы.	21
2.2. Почвы ключевых участков, их морфогенетическая характеристика и основные свойства.	22
2.2.1. Морфологическое описание разрезов.	22
2.2.2. Химические и физико-химические свойства исследуемых объектов.....	27
2.2.3. Гранулометрический состав.....	29
Глава 3. Методы исследования.	31
Глава 4. Результаты и обсуждение.	34
4.1. Результаты хемодеструкционного фракционирования органического вещества почв исследуемых объектов.	34
4.2. Содержание углерода органических соединений в исследуемых почвах. Результаты группового анализа состава гумуса.	36
4.2.1. Результаты группового анализа состава гумуса с выравненными концентрациями С _{гк} + С _{фк}	40
Выводы.	45
Литература	46

Введение.

Как писал И. В. Тюрин (1937), с наличием в почве органического вещества связан целый ряд процессов взаимодействия органических веществ и конечных продуктов их разложения с минеральной частью почвы. Эти процессы играют большую роль в общем комплексе процессов почвообразования, начиная с явлений выветривания первичных породообразующих минералов и кончая сложными процессами формирования почвенного профиля и его характерным для разных типов почв расчленением на генетические горизонты.

Поэтому, работы связанные с изучением почвенного органического вещества всегда являются актуальными, несмотря на большое количество исследований.

В связи с этим целью наших исследований было — охарактеризовать качественный состав органического вещества миграционно-мицелярных чернозёмов ОПХ ВНИИСС Воронежской области.

При этом были поставлены следующие задачи:

- охарактеризовать качественный состав почвенного органического вещества с помощью метода хемодеструкционного фракционирования;
- оценить гумусное состояние исследуемых объектов;
- сравнить групповой состав гумуса, определённый в растворах с исходной концентрацией и в растворах с выравненными концентрациями гумусовых кислот.

Автор благодарит профессора Воронежского государственного университета Н. В. Безлер и ассистента кафедры почвоведения Воронежского государственного университета И. В. Черепухину за помощь при выборе мест заложения разрезов, а также старшего преподавателя почвоведения и экологии почв СПбГУ А. Г. Рюмина за оказанную методологическую помощь.

Глава 1. Характеристика качественного состава почвенного органического вещества (литературный обзор).

Почвенное органическое вещество (ПОВ) — сложный комплекс индивидуальных (неспецифических) соединений и гуминовых веществ (ГВ), а также продуктов взаимодействия между собой и с минеральной частью почвы (Попов, Чертов, 1996). Органическое вещество почв — это динамичная, сложная и неоднородная система, в которой компоненты взаимосвязаны между собой и в нормально функционирующей природе представлены в определенной установившейся пропорции (Рисунок 1).

Индивидуальные органические соединения в почвах в значительной мере определяют динамику современных почвообразовательных процессов: влияют на уровни и темпы окислительно-восстановительных процессов, газовый режим, степень подвижности минеральных элементов питания растений и почвенной биоты и токсичных компонентов, действуют как стимуляторы и ингибиторы роста растений и т. д. (Кононова, 1963; Александрова, 1980; Орлов и др., 1996).

Из приведённой схемы (Рисунок 1) следует, что почти все органические соединения, относящиеся к промежуточным продуктам гумификации, представляют собой быстрообновляемый (лабильный) органический материал, а неразложившиеся отмершие остатки биоты или связанные с твердой фазой почвы гуминовые вещества — более устойчивый (стабильный) к действию гидролитической и окислительно-восстановительной биохимической деструкции материал. Меланиновые соединения — так называемые «свободные» гуминовые вещества, а арилгликопротеидные олигомеры — структурные единицы гуминовых веществ, которые в основном состоят из ароматических соединений (структурных компонентов лигнина), моно- или олигосахаридов, аминокислот и некоторых других веществ.

Специфичность почвы непосредственно связана с гуминовыми веществами. Гуминовые вещества, являясь стабильными и устойчивыми к вымыванию продуктами наиболее полного цикла биологической трансформации растительных остатков, способны к накоплению (Орлов и др., 1996). Аккумуляция гуминовых веществ обуславливает присущие только почве физико-химические свойства (Арчегова, 1993). При этом гумусовый профиль почв «живёт» в тесной связи с физиологическим ритмом жизни растений (Пономарёва, Плотникова, 1980).

Как известно (Кононова, 1963; Шурыгина и др. 1971), разнообразные компоненты ПОВ и различные части органических макромолекул имеют неодинаковую устойчивость к действию экзоферментов почвенной биоты. Относительно трудно (стабильные) и легко

(лабильные) разлагаемые органические соединения выполняют разную роль в экологическом функционировании почв и в проявлении некоторых



Рисунок 1. Функционально-генезисная классификация органического вещества

почвы (цит. по: А. И. Попову и О. Г. Чертову, 1996):

— промежуточные продукты распада и гумификации;

← основные пути трансформации органического материала;

← возможные направления трансформации органического материала;

* — образование обусловлено деятельностью дождевых червей;

** — образование происходит в основном за счёт сорбции.

свойств почв. Так, легко окисляемые органические соединения активно принимают участие в трофическом цикле почвенной биоты и сосудистых зелёных растений как резервный источник веществ и энергии. Эта часть ПОВ связана с биохимическими свойствами почвы. В свою очередь, трудно окисляемый органический материал, главным образом влияет на физические и физико-химические свойства почвы (Попов, Русаков, 2016).

В агропочвах в зависимости от силы и продолжительности антропогенного воздействия устанавливается разное динамическое равновесие между компонентами ПОВ с различной устойчивостью к окислению. Поэтому для характеристики пахотных почв большее значение приобретает качественный состав органического вещества, нежели его общее содержание (гумусированность).

1.1. Методы характеристики качественного состава почвенного органического вещества.

Обычно оценка качественного состава ПОВ базируется на определении так называемых гуминовых кислот и фульвокислот (Кононова, 1963; Александрова, 1977; Гришина, Орлов, 1978; Пономарёва, Плотникова, 1980; Орлов и др., 1996). Система оценки качественного состава ПОВ, использующая данные группового и фракционного состава гумуса, — не достаточно удовлетворительна, поскольку она слабо характеризует плодородие почв и не учитывает поведение ПОВ (Попов, Русаков, 2016).

При выявлении функциональных нарушений почв, подвергнувшихся различным антропогенным воздействиям, очень важно отношение легко- и труднорастворимых (лабильных и стабильных) органических соединений органической составляющей почв. Отношение лабильных и стабильных частей ПОВ — важная характеристика почв (Соколовский, 1919; Кононова, 1963; Александрова, 1980; Johnston, 1991; Beyer et al., 1993; Swift, 1996).

Для оценки отношения стабильных и лабильных частей ПОВ существует много различных методов, включая дифференциальный термический анализ (Орлов и др., 1968; Schnitzer, 1978; Лыков и др., 1981; Пупков, 1989; Hayes, 1991; Beyer, 1996; Swift, 1996). Дифференциальный термический анализ (ДТА) предназначен для физического и физико-химического изучения полимеров (Берштейн, Егоров, 1990) и используется для регистрации фазовых превращений в образцах каустобиолитов и их параметров (Wendlandt, 1986; Егунов, 1996). Дифференциальный термический анализ обладает большей чувствительностью, но он довольно-таки дорогой и сложный.

Другие методы основаны на химическом разложении органического вещества почв, разнообразными окислителями (Djuricic et al., 1971; Schnitzer, Skinner, 1974; Loginow, Wisniewski, 1976; Dormaar, 1979; Kiyoshi, Shozo, 1979; Rullkötter, Michaelis, 1990; Попов, Цыплёнков, 1991).

Для измерения различных по устойчивости к действию окислителя дихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) компонентов ПОВ был разработан метод хемодеструкционного фракционирования (ХДФ) (Попов, Цыплёнков, 1991). Данный метод позволяет определить такие важные информативные параметры оценки почвенного органического вещества, как содержание легко-, средне- и трудноокисляемого органического материала и информационная энтропия. Эти параметры позволяют охарактеризовать качественный состав ПОВ.

1.2. Гумусовый профиль черноземов и его изменение в результате антропогенного воздействия.

Уникальность чернозема, как природного образования, обусловлена необычностью его гумусового профиля (Адерихин, 1963; Ваксман, 1937; Докучаев, 1948; Прасолов, 1939). Первые исследования черноземов еще до становления почвоведения как науки были направлены на выявление причин и природы окраски этих почв (Германн, 1940; Леваковский, 1940; Ломоносов, 1949). Однако, по словам В.В. Докучаева (1948), "...отцом научной постановки и самой разработки вопроса о происхождении нашего чернозема является акад. Ф. И. Рупрехт с. 382". В своей работе Ф.И. Рупрехт (1866) подчеркивает, что образование чернозема — результат поселения степных травянистых растений и накопления перегноя при их разложении. Влияние других факторов и, в частности, климата на формирование черноземного профиля, он полностью отрицал.

Взяв за основу положения Ф.И. Рупрехта, В.В. Докучаев в работе "Русский чернозем" (1948) выстроил и логически завершил разработку теории происхождения черноземов. Василий Васильевич, рассматривая этот вопрос, однозначно отмечал: "...всякая растительная почва, всякий чернозем всегда образовывались и будут образовываться... одновременно двумя параллельными процессами: а) проникновением гумуса с поверхности и верхних почвенных горизонтов и б) за счет гниющих корней (с. 382)".

С.П. Кравков (1978), подтверждая исследования И.Ф. Леваковского, отмечал: "...что ближайшим и непосредственным источником в почве гумусообразования являются именно водные растворы, получающиеся из разлагающихся растительных остатков (с. 104)".

В более поздних работах российских почвоведов конца 19-го начала 20-го веков вопрос образования гумусового профиля черноземов также не получил однозначного решения. И.В. Тюрин (Тюрин, 1929; 1937; 1940; 1948; 1949; 1951; 1965; 1966), в своих работах писал, что образование гумуса в черноземах обязано главным образом, если не исключительно, своеобразию процессов гумификации и "гумофиксации" в этих почвах. Последнее автор объясняет спецификой экологических условий — чередованием влажных и сухих периодов, что приводит к трансформации гумусовых веществ и их закреплению в почвенном профиле в виде гуматов кальция.

Одновременно Е.Н. Мишустин (1947; 1972), разделяя позицию И.В. Тюрин в вопросе влияния экологических условий на гумусообразование черноземов, высказывал мысль о том, что они определяют динамику микробиологических процессов, обуславливающих трансформацию растительных остатков и гумусообразование.

Д.С. Орлов в серии работ (Орлов, 1977; 1985; 1986; 1988; 1990; 1993; 1984; Орлов, Бирюкова, 1984; Орлов, Иванушкина, 1991), анализируя факторы, обуславливающие накопление гумуса, выдвинул кинетическую теорию гумификации растительных остатков в почвах. В последующем, изучая гумусное состояние почв в зонально-генетическом ряду, от тундровых почв до сероземов, Д.С. Орлов и О.Н. Бирюкова (1984) пришли к выводу, что изменение гумусного состояния почв верхних горизонтов тесно коррелирует с периодом биологической активности, т. е. продолжительностью периода с температурой более 10°C и количеством продуктивной влаги не менее 1-2 %. Однако выявленные причины изменения гумусного состояния почв, по мнению Е.М. Самойлова, Ю.С. Толчельников (1991), не могут быть распространены на гумусовый профиль в целом, изучение которого они считали назревшей задачей дальнейшего познания гумусного состояния почв.

В.В. Пономарева экспериментально показала (Пономарева, 1974; Пономарева, Мясникова, 1951; Пономарева, Плотникова, 1980), что в черноземах фракция ГК-2, связанная с кальцием, практически полностью растворима в воде, а следовательно, гумусовые вещества черноземов способны к миграции по профилю.

Итак, экспериментально подтверждается правомерность гипотезы В.В. Докучаева о том, что формирование гумусового профиля черноземов есть результат протекания двух параллельных процессов: 1) образования гумуса *in situ* и 2) внутрипрофильного его перераспределения в результате миграционных процессов.

Исходя из краткого анализа информации по данному вопросу, имеющиеся концептуальные модели образования гумусовой толщи черноземов можно разделить на три группы (Герасимов, 1969): 1) подтверждающие образование гумусового профиля

только за счет разложения корней *in situ* и отрицающие миграцию гумуса черноземов; 2) включающие два параллельных процесса: образование гумуса *in situ* и иллювиирование его по профилю; 3) прочие.

Для целинных черноземов центра Русской равнины характерны довольно мощный гумусовый профиль (в среднем 80-90 см), а также высокое и очень высокое содержание гумуса (Гришина, Орлов, 1978). Количество его в верхнем слое составляет в среднем около 9 %, с варьированием от 7 до 12 %. С глубиной содержание гумуса в целом равномерно снижается до 1 % и менее в слое 110-120 см.

Особенностью целинных черноземов является "не характерное" для гумусного состояния этих почв резкое снижение содержания органического вещества в слое 5-10 см (в 1,5 раза) по сравнению с верхней (0-5 см) толщей. Последнее обусловлено в первую очередь абсолютным максимумом гумусонакопления в слое 0-5 см целинных черноземов (Щеглов, 1999). По мнению Д.И. Щеглова (1999), большинство исследователей пренебрегают данными по содержанию гумуса в указанном слое. Это в какой-то степени скрывает истинное распределение гумуса в профиле целинных черноземов и особенности гумусонакопления в них.

По данным Л.Е. Родина, Н.И. Базилевич (1965), количество надземной фитомассы увеличивается с юга на север (от южных к оподзоленным черноземам) от 20-40 до 40-100 ц/га, тогда как количество корневой массы в этом же направлении уменьшается от 180-200 до 130-150 ц/га. Аналогичные закономерности изменения биопродуктивности различных подтипов целинных черноземов наблюдаются и в других регионах (Носко и др., 1983).

Приведенные выше факты свидетельствуют о том, что между мощностью гумусового профиля, содержанием и запасами гумуса в черноземах, с одной стороны, и количеством растительной фитомассы — с другой, нет однозначной корреляции. Более того, количественное изменение фитомассы не может обусловить отмеченные качественные изменения гумусовых профилей в рассматриваемом ряду (от равномерно-аккумулятивного до элювиально-иллювиально-дифференцированного). Кроме того, изменение надземной фитомассы приводит к повышению содержания гумуса в профиле лишь до подзоны миграционно-мицелярных черноземов. Далее к северу, не смотря на увеличение количества надземной фитомассы, содержание гумуса снижается. Также не наблюдается однозначной корреляции между мощностью гумусовой толщи и глубиной проникновения корней. Как и в случае с надземной фитомассой, корреляция между содержанием гумуса и корневой массой к югу от миграционно-мицелярных черноземов отрицательная, а к северу — положительная (Щеглов, 1999).

Несоответствие массы и глубины распространения корней, с одной стороны, и характера гумусового профиля — с другой, весьма объективно показывает в своих работах М.М. Кононова (1976), которая отмечала, что прямую связь между содержанием гумуса и количеством живой и отмирающей растительной массы установить не удастся. Следовательно, концепция инситуального формирования органофилия черноземов не может объяснить всех отмеченных подтиповых особенностей гумусового профиля. Изменение гумусового состояния рассматриваемых черноземов с юга на север нельзя также объяснить адекватным изменением скорости разложения растительных остатков и величиной коэффициента гумификации. Хорошо известно (Тюрин, 1937; Кононова, 1963; Афанасьева, 1966), что с юга на север уменьшается количество микроорганизмов и их биохимическая активность. Иначе говоря, в указанном направлении скорость минерализации растительных остатков, поступающих в почву и на почву, однозначно падает.

В гумусовом профиле черноземов отмечается фракционирование гумусовых веществ, т. е. относительное нарастание доли миграционно способных ГК-2 с глубиной (Пономарева, Плотникова, 1980). Свидетельством водной миграции органических веществ в черноземах является неравномерная пропитка гумусовыми веществами минеральной почвенной массы: повышенное содержание их в кутанах, покрывающих грани педов, по сравнению с внутripедной массой (Марголина, 1988). Причем указанное явление нарастает от южных черноземов к северным подтипам. Миграцию органического вещества в профиле также подтверждают лизиметрические исследования, проведенные на черноземах (Коковина, 1965; Разработка комплекса ..., 1983).

Подтверждением выводам о наличии иллювиирования гумусовых веществ в процессе черноземообразования, и, следовательно, роста гумусового профиля вниз, служит профильная гетерохронность гуминовых кислот, датированных радиоуглеродным методом (Черкинский, 1985). Последняя, обусловлена наряду с другими процессами (Савич, 1971) иллювиированием гумусовых веществ в черноземах.

С большой вероятностью можно утверждать, что возраст гумуса нижних горизонтов черноземов, равный примерно 6-7 тыс. лет (Герасимов, 1969; Марголина и др., 1988), показывает время существования полнопрофильной почвы. Возраст гумуса верхних горизонтов черноземов предположительно показывает время возможного цикла или кругооборота углерода гумуса в системе живое вещество-гумус-атмосфера, в течение которого практически весь углерод этого горизонта, вовлеченный в цикл гумусообразования, в результате процесса минерализации теряется почвой или полностью омолаживается (Haiber, 1987; Самойлова, 1991). При этом цикл кругооборота

углерода гумуса различных горизонтов черноземов неодинаков и возрастает сверху вниз. Следовательно, с определенной долей вероятности можно считать, что возраст черноземов равен возрасту гумуса самого нижнего слоя органо профиля плюс время достижения почвой квазиравновесного состояния.

По мнению В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1980), разнообразие почв в природе вообще и подтиповые особенности черноземов, в частности, непосредственно связаны с изменением состава и свойств гумусовых веществ, своеобразием воздействия их на минеральную толщу почвы.

В работах И.В. Тюрина (1937; 1940; 1948; 1951) было показано, что в составе гумуса черноземов гуминовые кислоты составляют по С около 50 %, на долю фульвокислот приходится около 30 %, а отношение СГК:СФК, соответственно, превышает единицу. Гумусовые вещества черноземов связаны не только с кальцием, но и с устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами.

В последующем идеи И.В. Тюрина плодотворно развивались в работах М.М. Кононовой (Кононова, 1956; 1963; 1976; 1984), В.В. Пономаревой (Пономарева, 1947; 1949; 1964; 1974), Л.Н. Александровой (Александрова, 1980), Д.С. Орлова (Орлов, 1988; 1990; 1993). Большой вклад в познание природы и свойств гумусовых веществ внесли и другие исследователи (Лаврентьев, 1972; Sehgal, Stoops, 1972; Schnitzer, 1978; Stevenson, 1982; Hayes, 1985; Hedges, 1988; Persson, Mattsson, 1988; Stearman et al, 1989; Лейфман, 1993). Исследованию группового и фракционного состава гумуса черноземов центра Русской равнины посвящено большое количество работ (Колтакова, Шевченко, 1966; Шевченко, 1967; Адерихин, Шевченко, 1968; 1969; 1972; Адерихин, Одноралова, 1972; Ахтырцев, Шевченко, 1974; Адерихин, Ахтырцев, 1980; Пономарева, Плотникова, 1980; Шевченко, Бирюкова, 1984; Шевченко, Щербаков, 1984; Щеглов и др., 1988; Черников, 1992; Ахтырцев, Ахтырцев, 1993).

Вместе с тем большинство исследователей не придавали должного значения подтиповым особенностям качественного состава гумуса черноземов, ограничиваясь анализом последнего на типовом уровне. Еще в меньшей степени изучены характер и особенности изменения качественного состава гумуса в профиле черноземных почв. Детальный же анализ подтиповых особенностей и профильного распределения качественного состава гумуса, позволяет более глубоко понять сущность процесса формирования и эволюцию гумусового профиля черноземов как в естественных условиях, так и при антропогенном воздействии (Щеглов, 1999).

При длительном использовании почв в сельском хозяйстве изменения приобретают не временный циклический, а направленный характер, приводящий к формированию необратимых процессов и соответствующих им свойств (Щеглов, 1999).

В основе антропогенной изменчивости почв лежит нарушение квазиравновесного состояния между факторами почвообразования и процессами, составляющими суть почвообразования. Хозяйственная деятельность человека по своему влиянию неодинаково воздействует на основные факторы почвообразования. Чаще всего она фиксируется на почвенном климате и биоте, при этом не исключается прямое или опосредованное влияние антропогенеза на другие факторы (Щеглов, 1999).

Учитывая, что все они равнозначны по своему влиянию на формирование почвенного тела, на что неоднократно указывал в своих работах В.В. Докучаев, все же следует иметь в виду, что в конкретных экологических условиях тот или иной фактор может иметь приоритетное значение среди остальных. При этом чаще всего основополагающая, ведущая роль в конкретном почвообразовании отводится гидротермическим условиям и живой части почвы. Нарушая и изменяя базовые факторы почвообразования, человек своей производственной деятельностью изменяет ход и направление почвенных процессов, результаты которых отражаются в глубокой трансформации свойств почв (Щеглов, 1999).

Смена естественной растительности монокультурой приводит, с одной стороны, к снижению поступления органического материала в почву, с другой — к относительному выравниванию его количества в ряду рассматриваемых подтипов. Вместе с этим отмеченная смена растительности приводит, как известно, к изменению водного режима в сторону гумидизации (Большаков, 1961; Коковина, 1974).

Снижение поступления количества растительных остатков в почву при усилении увлажнения как бы сдвигает процесс черноземообразования в рассматриваемом ряду подтипов в гумидную сторону (северных подтипов). Однако, если учесть, что указанные изменения не столь велики по сравнению с таковыми на подтиповом уровне, то следует ожидать неадекватности изменений гумусового профиля в результате антропогенного воздействия. Гумусовый профиль черноземов формируется при трансформации органического вещества растительных остатков. Соответственно, максимум гумуса приурочен к зонам максимального содержания растительных остатков и наибольшей интенсивности микробиологической деятельности, обуславливающей их гумификацию (Щеглов, 1999).

В целинных черноземах расположение этих двух зон совпадает и всегда приурочено к верхней толще 0-5 см. Это определяет абсолютный максимум содержания

гумуса в этой толще, ниже которой происходит резкое снижение его количества, но в значительно меньшей степени, чем снижение биомассы корней с глубиной. Последнее указывает на наличие процесса перераспределения органического вещества в профиле черноземов, и, видимо, роль этого процесса с глубиной возрастает (Щеглов, 1999).

В пахотных черноземах процессы, обуславливающие формирование гумусового профиля, сохраняются. Но интенсивность их меняется. Гумусообразование ослабевает в результате снижения количества растительных остатков, поступающих в почву, а также несовпадения зон максимального накопления корневой биомассы и интенсивной микробиологической деятельности. Максимум корневой биомассы перемещается в слой 5-10 см на глубину заделки семян, а зона максимально возможной микробной деятельности по-прежнему остается в поверхностном слое. Наряду с этим в пахотных почвах в результате изменения их водного режима возрастает интенсивность миграционных процессов (Большаков, 1961; Коковина, 1974).

Несовпадение зон максимального накопления растительных остатков и микробиологической деятельности приводит к усилению процесса минерализации собственно гумусовых веществ в верхнем (0-5 см) слое. Более того, он провоцируется ежегодной перепашкой почвы с оборотом пласта, при котором пополняется энергетический материал для микробиологической деятельности не в виде растительного опада, как в целинных черноземах, а в форме вновь образованных гумусовых веществ (Щеглов, 1999).

Таким образом, с одной стороны, в пахотных черноземах в верхней части почвенной толщи процесс гумусонакопления протекает более медленно, а минерализация вновь образованного гумуса идет более быстро. С другой стороны, перепашка почвы приводит к нарушению (прерыванию) единого процесса гумусообразования и перераспределения во всей гумусовой толще. Это в конечном итоге даже без учета процесса отчуждения органического вещества с урожаем сдвигает его баланс по всему профилю в отрицательную сторону (Щеглов, 1999).

Исходя из изложенной выше концепции гумусонакопления в пахотных почвах, правомерно говорить о неравномерности потерь гумуса в ряду исследуемых подтипов черноземов. Минимальные потери гумуса при сельскохозяйственном использовании, видимо, будут наблюдаться у миграционно-мицелярных черноземов, а к югу и к северу от них — нарастать: в последнем случае за счет усиления выноса его за пределы профиля, а у миграционно-сегрегационных черноземов — за счет усиления процессов минерализации органического вещества (Щеглов, 1999).

Сельскохозяйственное использование миграционно-мицелярных черноземов приводит к неадекватному изменению содержания гумуса в профиле этих почв по сравнению с миграционно-сегрегационными. В миграционно-мицелярных черноземах, с одной стороны, происходит значительное снижение его количества в самой верхней части гумусовой толщи, с другой — увеличение содержания гумуса в результате его перераспределения в средней части профиля по сравнению с целинными аналогами. Все это приводит к появлению ряда особенностей в профильном распределении гумуса в этом подтипе в сравнении с другими исследуемыми пахотными черноземами (Щеглов, 1999).

Миграционно-мицелярные черноземы пашни в отличие от миграционно-сегрегационных содержат в верхнем горизонте больше гумуса (7,2 %). Их гумусовый профиль более растянут, нижняя граница его залегает в среднем на 15-20 см ниже, чем у миграционно-сегрегационных черноземов. В целом профиль охватывает приблизительно метровую толщину. Запасы органического вещества в этом случае составляют > 500 т/га, что превосходит примерно на 60 т/га запасы в миграционно-сегрегационных черноземах (Щеглов, 1999). Так же, как и в миграционно-сегрегационных, распределение гумуса по профилю миграционно-мицелярных черноземов в общем плане относится к аккумулятивному типу распределения веществ, по Б.Г. Розанову (1975), или постепенно убывающему, по Л.А. Гришиной и Д.С. Орлову (1978).

Вместе с тем реально существующее распределение гумуса по профилю может быть описано опять-таки лишь кривой Гаусса или же несколькими математическими функциями при расчленении кривой распределения на части.

Отличительной особенностью распределения гумуса в профиле миграционно-мицелярных черноземов является подчинение большей части гумусовой толщи и верхней части горизонта В одной функциональной линейной зависимости ($y = kx + b$). Кроме того, кривизна экспоненты у миграционно-мицелярных черноземов в нижней части профиля; (вторая половина горизонтов В и ВС) выражена слабее, чем в миграционно-сегрегационных черноземах. То есть, гумусовый профиль миграционно-мицелярных черноземов более растянут, имеет более сглаженный, плавный характер изменения содержания гумуса с глубиной (Щеглов, 1999).

Эти особенности могут быть обусловлены лишь миграционными процессами и никак не связаны с различиями в распределении корней. Масса корней у миграционно-мицелярных черноземов примерно соответствует или даже меньше, чем у миграционно-

сегрегационных черноземов, а различие в их распределении еще более несопоставимо с распределением гумуса (Щеглов, 1999).

Наличие процессов иллювиирования гумуса свидетельствует о закономерности, свойственной пахотным горизонтам черноземов. Она проявляется в нарастании градиента падения содержания гумуса в 2 раза от верхней части к нижней. В целом наличие градиента падения гумуса и возрастание его с глубиной в пределах перепахиваемой толщи указывает на то, что скорость процессов гумусообразования и перераспределения продуктов этого процесса происходит достаточно быстро, практически в течение одного года (Щеглов, 1999). Правомерность этого предположения подтверждает ряд работ (Герцык, 1959; Бреус, Михновская, 1976; Быстрицкая и др., 1978; Изучение мелиоративного..., 1983; Зезюков, Дедов, 1994).

В миграционно-мицелярных черноземах, так же как и в миграционно-сегрегационных, на границе перехода пахотного горизонта в подпахотный АУ отмечается резкое возрастание величины градиента падения гумуса. В лежащем ниже горизонте АВ эта величина по отношению к соответствующему слою миграционно-сегрегационных черноземов уменьшается и составляет примерно 0,7 %/дм, но сохраняет свое значение на большей глубине, захватывая даже верхнюю часть горизонта В. Меньшая величина градиента падения содержания гумуса в горизонте АВ миграционно-мицелярных черноземов по отношению к обыкновенным является подтиповым диагностическим показателем, отличающим их от последних. В нижележащей толще горизонта ВС у миграционно-мицелярных черноземов, как и у миграционно-сегрегационных, величина градиента падения стабилизируется на уровне 0,1 %/дм (Щеглов, 1999).

Таким образом, отмеченные особенности: менее резкие изменения градиента в горизонте В и более значительные в верхней части горизонта ВС свидетельствуют о большем поступлении гумусовых веществ в горизонты В и ВС миграционно-мицелярных черноземов по сравнению с миграционно-сегрегационными. Такие различия могут быть обусловлены неодинаковой периодичностью и глубиной сезонного промачивания почвенной толщи, влияющих на миграцию гумусовых веществ в указанные горизонты (Щеглов, 1999).

Правомерность высказанного предположения об увеличении количества гумуса в верхней части подгумусовой толщи (горизонты В и ВС) подтверждается немногочисленными данными лизиметрических исследований вертикальной водной миграции органического вещества в миграционно-мицелярных черноземах (Коковина, 1965; Изучение мелиоративного..., 1983).

Концентрация органического вещества в почвенном растворе составляет значительную величину. К примеру, на глубине 10 см концентрация С составляет 25 мг/л, на глубине 100 см - 12 мг/л и на глубине 150 см - 9 мг/л. То есть, содержание растворенного органического углерода как в гумусовой толще (100 см), так и в подгумусовой (150 см) примерно одинаково (12 и 9 мг/л). При этом следует заметить, что последние величины не столь значительно (при мерно в 2-2,5 раза) отличаются от таковых для самого верхнего 10-сантиметрового слоя гумусовой толщи. Также необходимо подчеркнуть, что концентрация водорастворимого гумуса относительно мало меняется по сезонам года — примерно в 2 раза (Щеглов, 1999).

Все отмеченное выше свидетельствует о том, что в профиле миграционно-мицелярного чернозема в течение всего годового цикла содержится значительное количество подвижного органического вещества, способного к перемещению с нисходящим током влаги на достаточно большую глубину (Щеглов, 1999).

Отсутствие ярко выраженной сезонной динамики концентрации водорастворимого гумуса (РОВ) в миграционно-мицелярных черноземах позволяет предположить, что концентрацию РОВ, мигрирующих с нисходящим током влаги, определяют не столько продукты разложения растительных остатков, сколько чисто гумусовые вещества, насыщенные кальцием, относительно химически инертные, неспособные к дальнейшему насыщению и осаждению даже в карбонатном горизонте черноземов. Миграция их определяется, видимо, лишь интенсивностью и глубиной проникновения поступающей в почвенный профиль влаги (Щеглов, 1999). Миграционноспособной фракцией гумусовых веществ, по мнению ряда авторов (Пономарева, 1974; Пономарева, Плотникова, 1980), в черноземах является ГК-2, предположительно связанная с кальцием.

В заключение можно сказать, что у миграционно-мицелярных черноземов по сравнению с миграционно-сегрегационными черноземами в формировании гумусового профиля большую роль играет процесс перераспределения ОВ в результате водной миграции. играет процесс перераспределения ОВ в результате водной миграции. Последнее в значительной степени и определяет подтиповые особенности в строении гумусового профиля черноземов миграционно-мицелярных (Щеглов, 1999).

Изменения содержания гумуса в миграционно-мицелярных черноземах пашни по сравнению с таковыми в миграционно-сегрегационных менее существенны и неоднозначны по профилю. Потери гумуса в миграционно-мицелярных черноземах примерно в 5 раз меньше, чем в миграционно-сегрегационных и составили за период их сельскохозяйственного использования около 23 т/га (Щеглов, 1999).

Наибольшие потери, причем близкие к таковым в миграционно-сегрегационных черноземах, отмечаются в верхней части профиля (около 30 т/га в слое 0-30 см). При этом абсолютный максимум потерь фиксируется в слое 0-10 см. С глубиной абсолютные и относительные потери уменьшаются до нуля в нижней приграничной части горизонта АU. Исключением в этом горизонте (АU) является слой плужной подошвы, где наблюдается положительное изменение (т. е. накопление) гумуса. В горизонте АВ почти во всей его толще отмечается накопление гумуса с выраженным абсолютным максимумом аккумуляции в его центральной части. В нижележащих слоях (горизонты В и ВС), как и в верхней части, вновь наблюдаются потери гумуса, причем величина их нарастает с глубиной, достигая максимума на глубине 140-150 см (Щеглов, 1999).

Такой характер изменения содержания гумуса в миграционно-мицелярных черноземах по отношению к целинным свидетельствует (Щеглов, 1999):

- 1) о значительном уменьшении содержания гумуса в пахотном слое;
- 2) об увеличении его содержания в слое плужной подошвы и горизонте АВ с выраженным максимумом в его центральной части;
- 3) о вновь нарастающем снижении с глубиной количества гумуса в нижней части профиля.

Перечисленное выше дает основание заключить, что сельскохозяйственное использование миграционно-мицелярных черноземов приводит к существенным потерям гумуса в верхней и нижней частях профиля и накоплению его в горизонте АВ. Последнее со всей очевидностью свидетельствует, что процессы перераспределения гумуса в профиле миграционно-мицелярных черноземов играют более значимую роль, чем в целинных аналогах и в пахотных миграционно-сегрегационных черноземах. Это, в свою очередь, снижает потери органического вещества в результате сельскохозяйственного использования и создает эффект большей устойчивости этих почв к антропогенным нагрузкам. В то же время профильное распределение гумуса у пахотных миграционно-мицелярных черноземов в результате проявления аккумулятивного эффекта во второй половине гумусового профиля сближается с таковым у целинных глинисто-иллювиальных черноземов. То есть, подтверждается высказанное ранее предположение о сдвиге подтиповых различий в строении гумусовых профилей в сторону северных подтипов при распашке черноземов (Щеглов, 1999).

Глава 2. Объекты исследования.

В качестве объектов исследования были выбраны чернозёмы миграционно-мицелярных разных угодий ОПХ ВНИИСС Воронежской области: полевая защитная лесополоса, целинный участок, залежь и пашня.



Рисунок 2. Спутниковый снимок исследуемой территории с отмеченными местами заложения разрезов.

Полевая защитная лесная полоса расположена с севера на юг. Была заложена на пашне в 40—50-х годах XX столетия. Возраст лесной полосы составляет около 70 лет. Растительность представлена в основном дубом, но имеется примесь кленовых деревьев (примерно 30-40%). Высота древесных пород около 17-20 м. Ширина лесополосы – 15 м. Отмечается большое количество сухостоя. Подрост представлен кленом. Травяной покров выражен слабо.

Пашня расположена в непосредственной близости от лесной полосы с восточной ее стороны. Используется в 10-польном зерно-паро-пропашном севообороте. В момент исследования использовалась под посев кукурузы. По данным ОПХ ВНИИСС в почву из минеральных удобрений на протяжении последних 15 лет вносятся только азотные удобрения в виде сульфата аммония ((NH₄)₂SO₄) в количестве 60-70 кг/га действующего вещества.

Залежь имеет возраст 10-15 лет. Представлена участком, зарастающим дикорастущими злаковыми.

Целинный участок расположен в непосредственной близости от лесной полосы и пашни на территории, разделяющей варианты опытов ВНИИСС. Растительность представлена костром безостым, молочаем прутьевидным, клевером ползучим и некоторыми другими представителями бобового разнотравья.

На всех участках было заложено по полнопрофильному разрезу до глубины 150 см. Образцы отбирались сплошной колонкой каждые 10 см в органогенных горизонтах и по одному образцу из каждого нижележащего горизонта. Всего было отобрано и проанализировано 37 почвенных образцов.

2.1. Характеристика исследуемого участка.

2.1.1. Климат.

Территория Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара принадлежит к району лесостепной климатической зоны. Климат умеренно-континентальный и складывается главным образом под влиянием двух факторов – близости южных и юго-восточных степных пространств и влиянием Атлантического океана (Адерихин, 1963).

Исследуемая территория расположена на 51' северной широты и 39' восточной долготы от Гринвича. Сумма солнечной радиации равна 94 ккал/см². Этого количества тепла достаточно для произрастания основных сельскохозяйственных культур. Количество тепла распределено по месяцам неравномерно. Климат района исследования характеризуется холодной снежной зимой и жарким, засушливым летом. Средняя температура января –9,8° С мороза, самого тёплого месяца — июля — 20,5° С тепла. Среднегодовая температура воздуха составляет 5,5° С, постепенный подъём температур наблюдается от марта к апрелю. Начало вегетационного периода считается с момента перехода температур через барьер 5° С, продолжительность его составляет 185 дней (Адерихин, 1963).

Преобладающие направления ветров северо-западное и юго-восточное. Весной часто наблюдаются суховеи – юго-восточные ветры со скоростью до 16 м/с, которые иссушают верхний слой почвы и способствуют развитию ветровой эрозии на незащищённых участках. Обычным явлением данного района считаются и заморозки, что очень опасно для слабых после зимовки растений. Наступление осенних заморозков обычно приходится на середину октября. Наряду с холодными зимами и устойчивыми морозами наблюдаются зимы с неустойчивой температурой, когда отрицательные показатели температур сменяются положительными. Это ведёт к образованию на поверхности почвы ледяной корки, вызывающей гибель зимующих культур (Адерихин, 1963).

В холодный период осадков выпадает меньше, чем в тёплый. Большую роль в увлажнении почвы играют талые воды. По многолетним данным метеостанции ВНИИСС годовое количество осадков по Рамонскому району составляет 481 мм в год с максимальным выпадением в июне-июле. В целом, климат района благоприятен для земледелия, но некоторые культуры могут испытывать недостаток влаги (Адерихин, 1963).

В целом средняя температура и влажность воздуха за вегетационный период 2005 года была близка средним многолетним показателям, а количество осадков в мае превышало многолетнюю норму в два раза. Климат района в целом благоприятен для земледелия (Адерихин, 1963).

2.1.2. Рельеф и гидрология.

Район исследования расположен на плоской возвышенности части водораздельной стрелки рек Дон и Воронеж, на Окско-Донской равнине.

Окско-Донская равнина — это низменная, плоская, слабо эродированная территория, разделяющая Среднерусскую и Приволжскую возвышенности, и расположена на высоте 150 м над уровнем моря, с минимальными отклонениями до 175-190 м (Адерихин, 1963).

Рельеф территории имеет слабоволнистый характер. Значительную часть местности занимает высокая четвёртая терраса реки Дон. Водораздел в целом равнинный с небольшим понижением в сторону оврагов и балок. По склонам имеется много потяжин, которые углубляются и постепенно переходят в балки, овраги, лога. Кроме крупных оврагов имеются небольшие понижения, которые придают рельефу волнистость. Территория слабо расчленена овражно-балочной сетью. Густота балочной сети составляет обычно 0.3-0.8 км/км², редко увеличиваясь до 1.2-1.6 км/км² (Щеглов, 1999).

Овражная сеть расположена очень неравномерно, главным образом на склонах речных долин. Глубина оврагов достигает до 40 м, крутизна их склонов от 8 до 35, а местами до 60 (Адерихин, 1963).

Неогеновая песчано-глинистая толща 4.0-5.0 м, залегающая на девонских отложениях, является богатейшим водоносным горизонтом. Другой водоносный горизонт приурочен к основанию слоя флювиогляциальных песков. Водоупором для него служат темноцветные глины. Этот горизонт глубоко дренирован долиной реки Воронеж и овражно-балочной сетью, с чем связаны различия вдоль крутого правобережья реки и часто встречающиеся небольшие оползни (Адерихин, 1963).

Территория расположена на водораздельном плато, микрорельеф участков не выражен. Грунтовые воды залегают на глубине 5,5-5,8 м.

2.1.3. Геология и почвообразующие породы.

Вследствие сложных и разнообразных процессов, поверхность территории сильно менялась как по вещественному составу, так и по форме. Наша область в далёком прошлом не раз покрывалась морем вследствие опускания земной коры, при ее поднятии море отступало и сменялось сушей (Адерихин, 1963).

Геологическое строение и современный рельеф представляют собою результат длительной геологической истории, исчисляемой сотнями миллионов лет. Территория была полностью перекрыта Днепровским ледником, оставившим после себя морену мощностью от 1 до 10 м, местами в понижениях коренного ложа и в краевой зоне до 20 м и больше. Так, на южной окраине Окско-Донской равнины мощность днепровской морены превышает 40 м (Щербаков, 1968).

Морена обычно представлена валунными суглинками, содержащими значительную примесь местных пород, часто наблюдаются прослой и линзы песков, количество и мощность которых возрастает к придонным понижениям. Кроме того, поверх суглинистой донной морены почти всюду распространен маломощный чехол рыхлой (песчанистой) абляционной морены. Это говорит об интенсивном перемыве материала тальными водами, способствовавшем образованию водно-ледниковых форм рельефа (озы и камы) (Ахтырцев, 1993).

Днепровский ледник осуществлял преимущественно равномерную, сравнительно маломощную аккумуляцию, в результате которой сложились так характерные для территории моренно-водно-ледниковые равнины с чередованием моренных поверхностей, водораздельных и долинных зандров.

Опытные поля ВНИИСС расположены на Доно-Воронежском водоразделе. Почвообразующими породами данного района являются бурые безвалунные карбонатные суглинки, которые относят к лессовидным породам.

По данным Б. П. Ахтырцева (Ахтырцев, 1993), лессовидные породы Окско-Донской равнины имеют следующий состав: SiO_2 -70.9%, Fe_2O_3 -5.8%, Al_2O_3 -15.1%, Na_2O -1.3%, K_2O -2.6%. По гранулометрическому составу это в большинстве случаев суглинки и пылеватые супеси. Характерно высокое содержание алевритовой фракции и частиц крупной пыли (0.01-0.05 м). Содержание крупно-пылевой фракции достигает 85%, песчаной фракции (более 0.05 мм) около 20%, частиц более 0.25 мм 3-4%, а фракция более 1 мм, как правило, отсутствует (Аринушкина, 1970).

Как и лессы, покровные суглинки характеризуются очень хорошей сортированностью материала, преобладанием в составе минералов кварца и полевых шпатов. Они обладают окраской палевых, желто-палевых, буровато-палевых тонов. Очень часто покровные суглинки обладают крупной пористостью, своеобразной плитчатой структурой (Адерихин, 1963).

Покровные суглинки района исследования подстилаются флювиогляциальными отложениями. На левом берегу Дона они слагаются преимущественно песками, в нижних слоях содержащими гравий и гальку северных кристаллических пород (Адерихин, 1963).

2.2. Почвы ключевых участков, их морфогенетическая характеристика и основные свойства.

2.2.1. Морфологическое описание разрезов.

Основными типами почв, характерными для региона проведения исследований, являются черноземы глинисто-иллювиальные и миграционно-мицелярные.

Описание почвенных разрезов:

Почва лесной полосы. Разрез №1.



Воронежская область, Рамонский район, поля ОПХ ВНИИСС

Привязка: 200 м от трассы на север и 2000 м от ВНИИСС на запад.

Микрорельеф – Окско-Донская равнина.

Мезорельеф – выровненное плато.

Микрорельеф – приствольные повышения, борозды.

Угодье – полевая защитная лесная полоса.

Растительность кленово-дубовая лесная полоса, сильно захламленная, возраст деревьев около 70 лет, высота 15-17 м, ширина полосы 15 м. Лесная полоса ориентирована с севера на юг. Много сухостоя, кленовый подрост.

Поверхность покрыта полуразложившимся опадом из сухих сучьев, травяной покров выражен слабо.

Вскипание от 10% НС1 наблюдается с глубины 93-94 см.

Рисунок 3. Фотография почвенного профиля разреза №1.

AU1 (0-20 см). Темно-серый, свежий, мелко-ореховато-зернистый, рыхлый, тонкопористый, бусы на корнях, пронизан густо корнями растений, переход заметный по плотности.

AU2 (20-34 см). Свежий, темно серый, более плотный, комковато-ореховато-зернистый, густо пронизан корнями растений, тонкопористый, уплотнен, тяжелосуглинистый, переход постепенный

AU3 (34-69 см). Увлажнен, темно-серый с буроватым оттенком, тяжелосуглинистый, комковато-ореховато-призматический, уплотнен, тонкопористый, пронизан корнями растений, переход постепенный

BCAmc1 (69-98 см). Бурый с темными гумусовыми затеками, увлажнен, комковато-призматический, плотный, в нижней части карбонаты в виде мицелия, тонкие корни растений, легкоглинистый, переход постепенный

BCAmc2 (98-140 см). Влажный, палево-бурый, плотный, комковато-призматический, пористый, обилие карбонатов в виде плесени, легкоглинистый, переход постепенный

Cca (140 см. и ниже). Светло бурый, легкоглинистый, плотный, пористый, влажный, карбонатная глина

Почва: чернозем миграционно-мицелярный тучный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидной карбонатной глине.

Почва целинного участка. Разрез №2.



Рисунок 4. Фотография почвенного профиля разреза №2.

AU1 (0-32 см). Темно-серый, свежий, комковато-зернистый, среднесуглинистый, уплотнен, присутствуют корни, тонкопористый, переход постепенный по цвету.

AU2 (32-79 см). Темно-серый с бурым оттенком, свежий, плотный, зернисто-комковатый, среднесуглинистый, корни растений присутствуют, тонкопористый, переход постепенный.

BCAmc (79-128 см). Серовато-бурый, свежий, среднесуглинистый, пылевато-комковатый, тонкопористый, редкие корни растений, гумусовые затеки, включения карбонатов, плотный, переход заметный.

Cca (128 см. и ниже). Светло-бурый, увлажнен, тяжелосуглинистый, призматически-комковатый, карбонаты в виде мицелия и пропиток, плотный.

Воронежская область, Рамонский район, поля ОПХ ВНИИСС,

Привязка: 300 м на юг от трассы, 2000 м на запад от ВНИИСС.

Макрорельеф - Окско-Донская низменность.

Мезорельеф - Выровненное плато.

Микрорельеф - микрозападины, кочки.

Угодье: целина косиная.

Растительность: костёр безостый, молочай прутьевидный, клевер ползучий и некоторые другие представители бобового разнотравья.

Вскипание от 10% НСИ наблюдалось с глубины 80 см.

Почва: чернозем миграционно-мицелярный тучный среднесуглинистый тяжелосуглинистый на лессовидной карбонатной глине.

Почва залежи. Разрез №3.



Воронежская область, Рамонский район, поля ОПХ ВНИИСС,

Привязка: 300 м на юг от трассы, 70 м на восток от разреза №2, 2000 м на запад от ВНИИСС.

Макрорельеф - Окско-Донская низменность.

Мезорельеф - Выровненное плато.

Микрорельеф - микрозападины, кочки.

Угодье: залежь косиная, зарастающая дикорастущими злаками

Растительность: злаково-разнотравная ассоциация.

Вскипание от 10% НСІ наблюдалось с глубины 80 см.

Рисунок 5. Фотография почвенного профиля разреза №3.

PU (0-30 см). Темно-серый, свежий, пылевато-комковатый, среднесуглинистый, уплотнен, присутствуют корни злаков, тонкопористый, переход постепенный по цвету, но заметный по структуре.

AU1 (30-43 см). Светло-серый, свежий, плотный, пылевато-зернисто-комковатый, среднесуглинистый, корни растений присутствуют, тонкопористый, переход постепенный.

AU2 (43-83 см). Серовато-бурый, свежий, среднесуглинистый, пылевато-зернисто-комковатый, тонкопористый, редкие корни растений, плотный, переход заметный.

BCAmc (83-133 см). Светло-бурый, увлажнен, тонкопористый, тяжелосуглинистый, затеки гумуса, единичные корни растений, зернисто-комковатый, гумусовые затёки.

Cca (133 см. и ниже). Светло-бурый, увлажнен, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, карбонаты в виде мицелия и пропиток, плотный.

Почва: чернозем миграционно-мицелярный среднегумусный мощный тяжелосуглинистый на лессовидной карбонатной глине.

Почва пашни. Разрез №4.



Воронежская область, Рамонский район, поле ОПХ ВНИИСС

Привязка: 100 м на восток от лесной полосы, 200 м на север от трассы, 2000 м на запад от ВНИИСС.

Макрорельеф- Окско-Донская низменность.

Мезорельеф – Выровненное плато.

Микрорельеф – борозды от сельскохозяйственной техники.

Угодье – пашня.

Растительность: пшеница. Поле средне засорено. Сорные растения - вьюнок полевой, молочай, осот

Вскипание от 10% HCl наблюдается с глубины 60 см.

Рисунок 6. Фотография почвенного профиля разреза №4.

PU (0-31 см). Свежий, светло серый, среднесуглинистый, пылевато-комковатый, рыхлый, тонкопористый, редкие корни растений, переход резкий по плотности.

AUlc (31-62 см). Свежий, темно серый, среднесуглинистый, зернисто-комковатый, редкие корни растений, тонкопористый, уплотнен, переход постепенный по цвету.

BCAmc1 (62-86 см). Свежий, темно серый с буроватым оттенком, среднесуглинистый, непрочно-зернисто-комковатый, уплотнен, единичные корни растений, тонкопористый, отмечается неясная призмовидность, переход постепенный.

BCAmc2 (86-116 см). Свежий, темно-бурый, гумусовые затеки, кротовина, комковато-призмовидный, среднесуглинистый, тонкие корни растений, уплотнен, карбонаты в виде мицелия, преход постепенный.

Cca (116 см. и ниже). Светло-бурый, свежий, тяжелосуглинистый, плотный, тонкопористый, комковатый, карбонаты в виде белоглазки.

Почва: чернозем миграционно-мицелярный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидной карбонатной глине.

2.2.2. Химические и физико-химические свойства исследуемых объектов.

В лабораторных условиях нами были проведены исследования характеризующие некоторый химические и физико-химические свойства исследуемых объектов.

Почвы лесополосы и целинного участка относились к тучным. Содержание гумуса в почвах было меньше и эти почвы были классифицированы как среднегумусные. Во всех почвах наблюдалось постепенное снижение показателей гумуса вниз по профилю.

Все почвы имели в верхней части профиля близкую к нейтральной реакцию среды (6,8-7,1). Вниз по профилю во всех почвах наблюдалось повышение показателя рН, в самой нижней части профиля, на глубине 140-150 см. реакция среды становилась щелочной и приобретала значение 8,5 на всех участках.

Содержание обменных катионов кальция и магния в почвах лесной полосы, залежи и пашни имели близкое содержание, в верхней части профиля на всех трех участках их сумма была равна ~ 39 мг (экв)/ 100 г. почвы, в почве целинного участка их содержание было гораздо выше и равнялось 44,2 мг (экв)/100 г. почвы. Во всех почва вниз по профилю происходило уменьшение данного показателя.

Степень насыщенности почв основаниями в исследуемых почвах имеет значения, соответствующие показателю гидролитической кислотности. В верхней части профиля степень насыщенности почв на участках лесной полосы, целинного участка и залежи имеет близкие значения (95-96 %), в почве же пашни данный показатель равен 82%, как и в случае с предыдущим описываемым показателем ниже по профилю значение степени насыщенности уменьшается, но в почве лесной полосы происходит скачок в сторону снижения на глубине 20-30 см.

Таблица 1. Химические и физико-химические характеристики исследуемых почв.

Горизонт	Глубина, см	pH _{H2O}	Обменные катионы			Hr+	V, %	Гигроскопическая влага, %	ППП, %	Собщ, %	C:N
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺						
			мг (экв)/100 г почвы								
Р.1. Чернозем миграционно-мицелярный тучный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. (лесная полоса)											
AU1	0-10	6,7	34,1	4,9	39,0	2,1	95	4,6	10,0	6,5	13,6
AU2	10-20	6,8	32,9	4,1	37,0	5,4	87	4,5	9,5	3,7	12,2
AU3	20-30	6,9	31,3	4,0	35,3	4,2	89	4,4	8,9	3,8	12,5
AU4	30-40	7,2	28,7	3,4	32,1	2,7	92	4,3	8,7	3,2	12,2
AU5	40-50	7,5	26,5	2,3	28,8	-	-	4,1	8,2	2,9	12,2
AU6	50-60	8,1	-	-	-	-	-	3,9	7,5	3,1	12,1
AU7	60-70	8,1	-	-	-	-	-	3,7	7,2	2,2	11,2
BCAmc1	70-100	8,3	-	-	-	-	-	3,5	6,9	1,1	9,1
Р.2. Чернозем миграционно-мицелярный среднегумусный тучный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. (целинный участок)											
AU1	0-10	7	38,9	5,3	44,2	1,7	96	4,3	10,1	5,5	11,8
AU2	10-20	7,1	37,3	5,0	42,3	1,7	96	4,3	9,9	4,1	11,9
AU3	20-30	7,2	36,0	4,8	40,8	1,0	98	4,2	9,6	3,8	12,2
AU4	30-40	7,3	33,5	4,6	38,1	0,5	99	4,1	9,3	3,5	12,1
AU5	40-50	7,3	32,9	4,2	37,1	0,2	100	3,9	8,8	3,2	12,0
AU6	50-60	7,4	31,6	4,1	35,7	-	-	3,7	8,4	2,9	12,0
AU7	60-70	7,5	30,4	3,9	34,3	-	-	3,5	7,6	2,4	7,8
AU8	70-80	7,7	-	-	-	-	-	3,3	8,5	2,0	11,1
BCAmc	80-130	8,3	-	-	-	-	-	3,5	9,8	0,6	7,8
Cca	130-...	8,5	-	-	-	-	-	3,7	11,2	0,5	6,4
Р.3. Чернозем миграционно-мицелярный среднегумусный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. (залежь)											
PU1	0-10	7,1	34,3	5,0	39,3	1,7	96	4,5	10,0	3,8	11,9
PU2	10-20	7,1	32,7	4,2	36,9	1,7	96	4,3	9,8	3,7	11,9
PU3	20-30	7,2	32,1	4,0	36,1	1,0	97	4,2	9,6	3,4	11,9
AU1	30-40	7,3	31,5	3,7	35,2	0,5	99	4,1	9,3	2,9	11,6
AU2	40-50	7,3	30,7	3,5	34,2	0,2	100	4,0	8,0	2,2	11,1
AU3	50-60	7,4	30,3	3,3	33,6	-	-	3,7	8,9	2,1	11,2
AU4	60-70	7,4	29,9	3,2	33,1	-	-	3,5	7,6	1,8	10,6
AU5	70-80	7,5	29,1	3,1	32,2	-	-	3,2	8,3	1,5	9,7
BCAmc	80-130	8,3	-	-	-	-	-	3,6	9,8	1,7	27,4
Cca	130-...	8,5	-	-	-	-	-	3,7	11,2	1,3	27,2
Р.4. Чернозем миграционно-мицелярный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. (пашня)											
PU1	0-10	6,8	33,7	5,2	38,9	8,7	82	4,0	10,6	3,4	11,7
PU2	10-20	6,9	32,1	3,9	36,0	7,9	82	4,4	11,1	3,3	11,8
PU3	20-30	6,9	31,1	3,8	34,9	2,7	93	4,4	10,3	2,8	12,0
AUlc1	30-40	7,2	-	-	-	-	-	4,6	9,6	2,4	11,5
AUlc2	40-50	7,7	-	-	-	-	-	4,4	9,2	1,9	11,2
AUlc3	50-60	8,1	-	-	-	-	-	4,2	8,7	1,3	10,1
BCAmc1	62-86	8,3	-	-	-	-	-	3,5	8,1	2,1	18,7
BCAmc2	86-116	8,5	-	-	-	-	-	3,9	8,3	0,6	14,9
Cca	116-...	8,5	-	-	-	-	-	3,7	8,8	0,2	9,2

Показатель гидролитической кислотности в почвах всех участков сильно варьировал, в почве залежи и лесной полосы, в верхней части профиля, показатель имел

невысокое значение близкое к 2 мг (экв)/ 100 г. почвы, в почве пашни этот показатель гораздо выше и равен 8,73 мг (экв)/ 100 г. почвы, что может быть связано с систематическим внесением физиологически кислых удобрений. Вниз по профилю в почве лесной полосы, в слое, максимально насыщенном корнями древесных пород, отмечался резкий скачок в сторону увеличения показателя до 5,44 мг (экв)/ 100 г. почвы. Это может быть обусловлено кислыми корневыми выделениями, что подтверждается многими научными исследованиями. Далее по профилю гидролитическая кислотность снижалась. В почве залежного и целинного участков гидролитическая кислотность равномерно снижалась вниз по профилю.

Обогащенность гумуса азотом (или отношение C:N) во всех почвах была низкой, в почвах целинного участка, залежи и пашни, значение этого показателя было близко к 12 (11,7-11,9), в почве лесополосы значение этого показателя было больше – 13,6.

2.2.3. Гранулометрический состав.

На основе результатов гранулометрического анализа проведенных с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц SALD-2201 фирмы Shimadzu, которые представлены в таблице 2, мы сделали следующие выводы, что во всех исследуемых почвах содержание частиц разного размера слабо дифференцировано по профилю. Преобладание фракции крупной пыли, около 40 %, и высокое содержание фракции средней пыли (> 10 %), соответствует литературным данным о гранулометрическом составе черноземов миграционно-мицелярых (Практикум по полевому..., 1980), и свидетельствует о том, что все почвы исследуемых разрезов имеют сходное происхождение.

Таблица 2. Распределение частиц разного размера по профилю во всех почвах.

Глубина, см	Средний и крупный песок >0,25	Тонкий песок 0,25-0,05	Крупная пыль 0,05-0,01	Средняя пыль 0,01-0,005	Мелкая пыль 0,005-0,001	Илистая фракция < 0,001
Лесополоса						
0-10	9	45	34	7	5	1
10-20	10	15	43	15	15	2
20-30	10	22	40	13	13	2
30-40	9	15	43	15	16	3
40-50	10	18	42	14	14	3
50-60	10	15	44	14	14	2
60-70	6	21	44	13	13	3
70-80	6	15	46	14	16	3
Целинный участок						
0-10	11	40	34	8	6	1
10-20	12	32	37	10	8	1
20-30	9	20	44	13	12	2
30-40	9	25	45	11	9	1
40-50	6	27	47	11	8	1
50-60	8	26	45	11	9	1
60-70	7	26	44	11	10	2
70-80	4	17	48	14	14	3
Залежь						
0-10	6	15	43	16	17	3
10-20	7	12	43	16	18	3
20-30	9	12	45	16	17	3
30-40	7	22	44	13	12	2
40-50	6	21	45	13	12	2
50-60	8	19	45	13	13	2
60-70	7	21	44	12	13	3
70-80	6	23	42	12	14	4
Пашня						
0-10	12	24	38	13	12	2
10-20	11	13	43	15	15	2
20-30	13	16	41	14	14	2
30-40	15	22	42	11	9	1
40-50	12	28	40	10	9	2
50-60	17	24	37	10	10	2
60-70	13	21	36	12	15	4
70-80	22	19	31	10	14	4

Глава 3. Методы исследования.

Гуминовые вещества, как сложные по составу природные высокомолекулярные соединения, могут быть охарактеризованы только посредством комплекса физико-химических и физических методов (Кононова, 1963; Александрова, 1980; Черников, 1984; Орлов, 1990). Так, при анализе органических гетерополимеров обязательно определяют элементный состав, содержание функциональных групп, молекулярно-массовое распределение и среднестатистическую молекулярную массу всего соединения, а также вещественный состав мономеров.

Элементный состав гумусовых кислот, выделенных из биокосных тел и меланинов, является одной из важнейших характеристик, которая используется в качестве показателя протекания процесса гумификации, для суждения о степени конденсированности и о степени окисленности гумусовых кислот и т. п. Гуминовые вещества содержат: углерода — 40-60, кислорода — 30-50, водорода — 3-7, азота — 1-5 массовых процентов на сухое беззольное вещество (Brady, Weil, 2002). Исходя из данных, полученных Д. С. Орловым (1974), усреднённый элементный состав ЧГК является следующим: углерод — 58, водород — 4, кислород — 34, азот — 4, а БГК: углерод — 55, водород — 5, кислород — 35, азот — 5, массовых процентов на сухое беззольное вещество. В ФК щелочной и кислотной фракций не обнаружено существенных отличий в элементном составе (Пономарёва, Плотникова, 1980). В ряду гумин — гуминовые кислоты — фульвокислоты в составе ГВ возрастает содержание кислорода, а содержание углерода и азота — уменьшается (Swift, 1996). В биокосных телах: поверхностные воды — почвы — торф — уголь наблюдается возрастание содержания углерода и снижение кислорода (Перминова, 2000). А чем больше в составе органических соединений кислорода, тем быстрее они окисляются.

В данной работе был использован метод хемодеструкционного фракционирования (окисление почвенного органического вещества растворами $K_2Cr_2O_7$), который относится к физико-химическому анализу органического материала биокосных тел (в частности почвенных органических веществ) и основан на выявлении разной устойчивости компонентов почвенного органического вещества и/или различных частей органических макромолекул к действию окислителей.

Лабильные формы ПОВ окисляются растворами с низкой окисляющей способностью, а относительно стабильные — с более высокой. На этой основе и определяются лабильные и стабильные части почвенного органического вещества (Попов, Цыплёнков, 1991). Чем выше окисляющая способность раствора-окислителя,

тем выше химическая деструкция органического материала. Окисляющая способность задавалась с помощью кислотной функции Л. Гамметта (Popov et al., 1992).

Последовательность определения качественного состава почвенного органического вещества была следующая: навески образцов вносились в 3 термоустойчивые кпробирки; затем во все эти колбы приливалось по 5 мл 0,8 н. водного раствора $K_2Cr_2O_7$; после этого в первую колбу добавлялись 5 мл 30 %-го раствора H_2SO_4 ; во вторую колбу — 5 мл 60 %-го раствора H_2SO_4 и, наконец, в третью колбу 5 мл концентрированной H_2SO_4 . Все колбы помещались в термостат, нагретый до $100^\circ C$, и выдерживались 60 минут. Количество окисленного органического материала определялось фотометрически (ГОСТ 26213-91). Фотометрирование растворов проводили в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 10 мм относительно контрольного раствора с использованием оранжево-красного светофильтра (560–600 нм). Растворы в кювету фотоэлектроколориметра переносили осторожно, не взмучивая осадка.

Метод ХДФ позволяет определить три фракции почвенного органического вещества, различающихся устойчивостью к окислению. Содержание углерода органических соединений, определяемых в первой пробирке, представлял собой легкоокисляемую фракцию (лабильную часть), во второй пробирке — среднеокисляемую фракцию и в третьей — относительно трудноокисляемую фракцию (стабильную часть) ПОВ. Каждая фракция (часть окисленного почвенного органического вещества) выражалась в процентах от навески абсолютно-сухого образца или от содержания углерода органических соединений (Собщ.). Для получения результатов в дифференциальной форме из каждого последующего результата (количество окисленного органического материала) вычитался предыдущий.

На основании результатов ХДФ рассчитывалась информационная энтропия S_0 по К. Шеннону (1963):

$$S_0 = - (H_e \cdot \log_3 H_e + H_m \cdot \log_3 H_m + H_h \cdot \log_3 H_h),$$

где H_e — доля легкоокисляемого материала; H_m — доля среднеокисляемого; H_h — доля трудноокисляемого ПОВ.

Величина информационной энтропии, определённая на основе ХДФ органического вещества почв, представляет собой интегральный показатель, характеризующий сбалансированность фракций, отличающихся по устойчивости к окислению.

Для другой оценки пропорциональности фракций нами рассчитывался вурф W (Сонин, 1987):

$$W = (H_e + H_m) \cdot (H_m + H_h) / (H_m \cdot (H_e + H_m + H_h)).$$

Значения вурфа, равное 1,33, свидетельствует о полной пропорциональности сравниваемых величин.

Помимо указанного выше метода в образцах определялись: содержание углерода почвенного органического вещества — метод мокрого сжигания по Тюрину (Аринушкина, 1970); фракционно-групповой состав гумуса — пирофосфатным способом выделения гуминовых веществ по Кононовой-Бельчиковой (Орлов и др., 1969); сумма обменных оснований — вытеснением 1,0 н. водным раствором NaCl с комплексометрическим определением ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (Аринушкина, 1970); гидролитическая кислотность — по Каппену (Химический ..., 1995); величина водородного показателя (рН) в водной и солевой суспензиях — потенциометрическим методом (Химический ..., 1995); влажность — термовесовым методом при 105° С (Аринушкина, 1970).

Глава 4. Результаты и обсуждение.

4.1. Результаты хемодеструкционного фракционирования органического вещества почв исследуемых объектов.

Как известно (Фокин, 1978; Jenkinson, Rayner, 1978; Кирюшин и др., 1993; Смагин, 2005), разнообразные компоненты органического вещества и различные части органических макромолекул имеет одинаковую устойчивость к окислению. При этом фрактальные кластеры супермолекул гуминовых веществ содержат и стабильные, и лабильные части (Федотов, Шоба, 2013). Для определения легко- и трудноокисляемых частей ПОВ нами и был использован метод ХДФ.

С помощью ХДФ обнаружено (Рисунок 7 –Рисунок 9, таблица 3), что трудноокисляемая часть почвенного органического вещества преобладала во всех исследованных объектах (49,5–74,7 %). Причины наблюдаемого явления обусловлены, по всей видимости, хорошей дренированностью территории и преобладание окислительных процессов в условиях как сухостепной зоны, что способствует формированию гумусового горизонта с относительно низкой долей (17–30%) легкоокисляемой (лабильной) части (ЛОЧ) в составе ПОВ.

Результаты сравнения качественного состава органического вещества гумусовых горизонтов почв естественных ландшафтов методом ХДФ показали, что доля легкоокисляемой фракции ПОВ увеличивается вниз по профилю данных почв (Рисунок 77 -Рисунок 8), это, по всей видимости, можно объяснить тем, что сформированная дернина защищала более глубокие части гумусового горизонта от притока диффузного кислорода, что, в свою очередь, способствовало развитию в почве более восстановительных условий и следовательно уменьшению скорости минерализации подвижных соединений ПОВ.

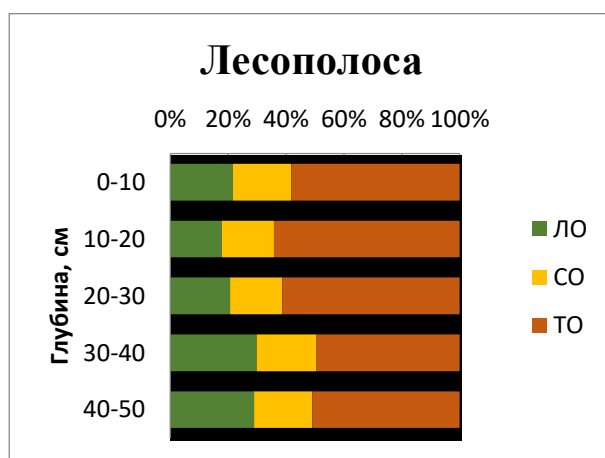


Рисунок 7. Соотношение фракций ПОВ, различающихся устойчивостью к окислению, почвы лесополосы.

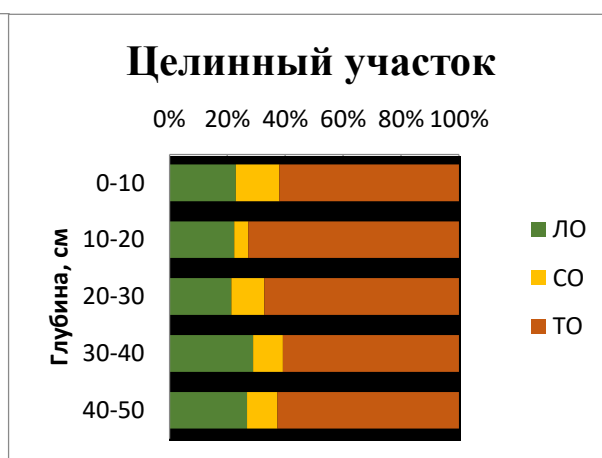


Рисунок 8. Соотношение фракций ПОВ, различающихся устойчивостью к окислению, почвы целинного участка.

Таблица 3. Значения долей фракций, различающихся устойчивостью к окислению, величины вурфа и информационной энтропии органического вещества.

Глубина, см.	ЛО	СО	ТО	W	H0
Лесополоса					
0-10	21,70	20,10	58,20	1,63	0,88
10-20	17,80	18,10	64,10	1,63	0,82
20-30	20,60	18,10	61,30	1,70	0,85
30-40	29,80	20,70	49,50	1,71	0,94
40-50	28,90	20,20	50,90	1,73	0,93
Целинный участок					
0-10	22,90	15,00	62,10	1,95	0,84
10-20	22,40	4,80	72,80	4,40	0,65
20-30	21,40	11,40	67,20	2,26	0,77
30-40	28,90	10,30	60,80	2,71	0,82
40-50	26,80	10,50	62,70	2,60	0,80
Залежь					
0-10	30,00	8,80	61,20	3,09	0,80
10-20	26,10	4,10	69,80	5,44	0,67
20-30	17,00	8,60	74,40	2,47	0,67
30-40	20,30	16,90	62,90	1,75	0,83
40-50	15,80	29,90	54,30	1,29	0,90
Пашня					
0-10	27,50	22,00	50,50	1,63	0,94
10-20	27,00	14,20	58,80	2,12	0,86
20-30	23,30	15,20	61,50	1,94	0,84
30-40	21,60	14,20	64,20	1,98	0,81
40-50	20,10	15,90	64,00	1,81	0,82

Как следует из результатов ХДФ образцов агрогенных и постагрогенных (Рисунок 10-11), почв пашни и залежи, доля ЛОЧ возрастала в составе органической составляющей почв вниз по профилю. Данный факт может объясняться тем, что в результате интенсивного сельскохозяйственного использования происходит резкое уменьшение содержания органического вещества в почвах, а основная часть отмерших растительных остатков приурочена к верхней части гумусового горизонта.

Таким образом, трудноокисляемая часть почвенного органического вещества преобладала во всех исследованных объектах (49,5–74,7 %). Доля легкоокисляемой фракции уменьшалась вниз по гумусовому горизонту на залежном участке и пашне, тогда как в гумусовых горизонтах целинного участка и лесополосы доля легкоокисляемого органического материала возрастала с глубиной. На основе вычисленных величин вурфа и информационной энтропии по К. Шеннону (таблица 3),

было выявлено, что залежный участок практически восстановился в постантропогенный период, а состояние органического вещества почв целинного участка и лесополосы было идентично.

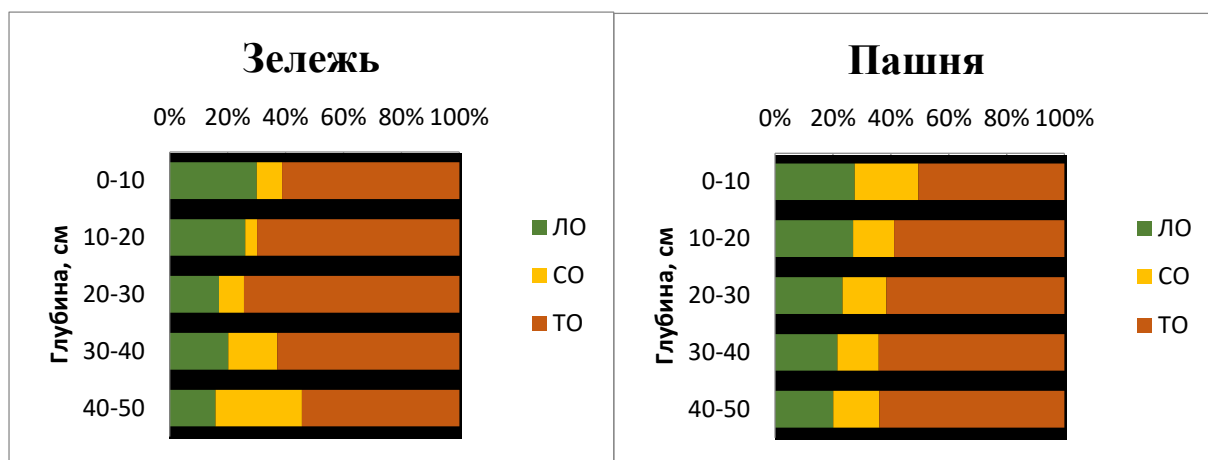


Рисунок 10. Соотношение фракций ПОВ, различающихся устойчивостью к окислению, почвы залежи. **Рисунок 9. Соотношение фракций ПОВ, различающихся устойчивостью к окислению, почвы пашни.**

4.2. Содержание углерода органических соединений в исследуемых почвах.

Результаты группового анализа состава гумуса.

Гумусное состояние почв — это совокупность морфологических признаков и химических свойств гумуса, которая позволяет охарактеризовать качественный состав почвенного органического вещества. Тип гумуса определяется составом и свойствами гумусовых соединений. Основными факторами, определяющими содержание и состав гумуса в почвах, являются: количество, состав и характер поступления пострепальных остатков живых организмов, гидротермические условия трансформации органических веществ, биологическая активность, вещественный состав, физические и физико-химические свойства почв (Кононова, 1963; Тюрин, 1965; Александрова, 1980; Пономарева, Плотникова, 1980; Орлов и др., 1996; Орлов и др., 2004). В практике российских почвоведов оценка качественного состава гумуса базируется на определении так называемых гуминовых кислот и фульвокислот (Кононова, 1963; Александрова, 1977; Гришина, Орлов, 1978; Орлов и др., 1996; Орлов и др., 2004), а отношение количества углерода гуминовых кислот, к количеству углерода фульвокислот ($C_{ГК}:C_{ФК}$) считается наиболее информативным показателем при всей его условности.

Результаты оценки гумусного состояния ПОВ исследованных объектов полученное при выполнении анализа без выравнивания концентраций раствора

гумусовых кислот перед осаждением гуминовых кислот приведены в таблице 4, а результаты, полученные при выравнивании — в таблице 5.

Максимальное содержание гумуса в слое 0-10 см наблюдалось в почвах целинного участка и лесополосы (12,14 и 9,29 %, соответственно), в случае почв залежи и пашни, этот показатель был ниже (7,24 и 6,45 %, соответственно). Такое падение содержания гумуса в почвах залежного участка и пашни, в сравнении с целинной почвой и почвой лесополосы, связано, очевидно, с интенсивной сельскохозяйственной обработкой этих почв.

Таблица 4. Групповой состав гумуса исследуемых объектов

Объект	Горизонт	Образец, глубина, см	Содержание $C_{\text{общ}}$, %	Содержание гумуса, %	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{ФК}}$	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{ФК}}$	$C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$
					% от воздушно-сухой навески		% от $C_{\text{общ}}$		
Лесополоса	AU1	0-10	7,04	12,14	1,54	0,73	22	10	2,12
	AU2	10-20	3,74	6,45	0,80	0,84	21	22	0,95
	AU3	20-30	3,95	6,81	0,96	0,83	24	21	1,15
	AU4	30-40	3,22	5,56	0,87	0,84	27	26	1,04
	AU5	40-50	3,13	5,40	0,61	0,82	20	26	0,75
Целинный участок	AU1	0-10	5,39	9,29	1,57	0,72	29	13	2,18
	AU2	10-20	4,14	7,13	1,22	0,80	30	19	1,52
	AU3	20-30	3,82	6,58	0,85	0,84	22	22	1,01
	AU4	30-40	3,52	6,07	0,80	0,84	23	24	0,95
	AU5	40-50	3,23	5,57	0,67	0,83	21	26	0,81
Залежь	PU1	0-10	4,20	7,24	0,76	0,84	18	20	0,92
	PU2	10-20	3,87	6,68	0,72	0,83	19	22	0,87
	PU3	20-30	3,59	6,18	0,67	0,83	19	23	0,81
	AU4	30-40	3,06	5,27	0,43	0,77	14	25	0,56
	AU5	40-50	2,32	4,00	0,32	0,72	14	31	0,45
Пашня	PU1	0-10	3,74	6,45	0,76	0,84	20	22	0,92
	PU2	10-20	3,61	6,22	0,51	0,80	14	22	0,64
	PU3	20-30	3,16	5,44	0,40	0,76	13	24	0,53
	AU4	30-40	2,66	4,59	0,40	0,76	15	28	0,53
	AU5	40-50	2,17	3,75	0,24	0,57	11	26	0,43

В целом профильное распределение гумуса в черноземах характеризуется равномерно-аккумулятивным типом (Розанов, 1975). Однако детальный анализ кривой распределения гумуса в профиле черноземов (Рисунок 11), проведенный Д.И. Щегловым (1999) показал, что в пределах почвенного профиля тип распределения гумуса неодинаков. В его верхней части, примерно до глубины 30-40 см, накопление гумуса идет по регрессивно-аккумулятивному типу, ниже (40-100 см) — по равномерно-аккумулятивному и с глубины 100-110 см — вновь по регрессивно-аккумулятивному типу. Отмеченное различие в характере распределения гумуса в профиле черноземов хорошо иллюстрируется величиной градиента его падения с глубиной, который

представляет собой частное от деления разности граничных показателей количественного содержания гумуса (Δx , %) на определенном участке профиля к его мощности (h , дм):

$$\text{Град.} = \Delta x/h.$$

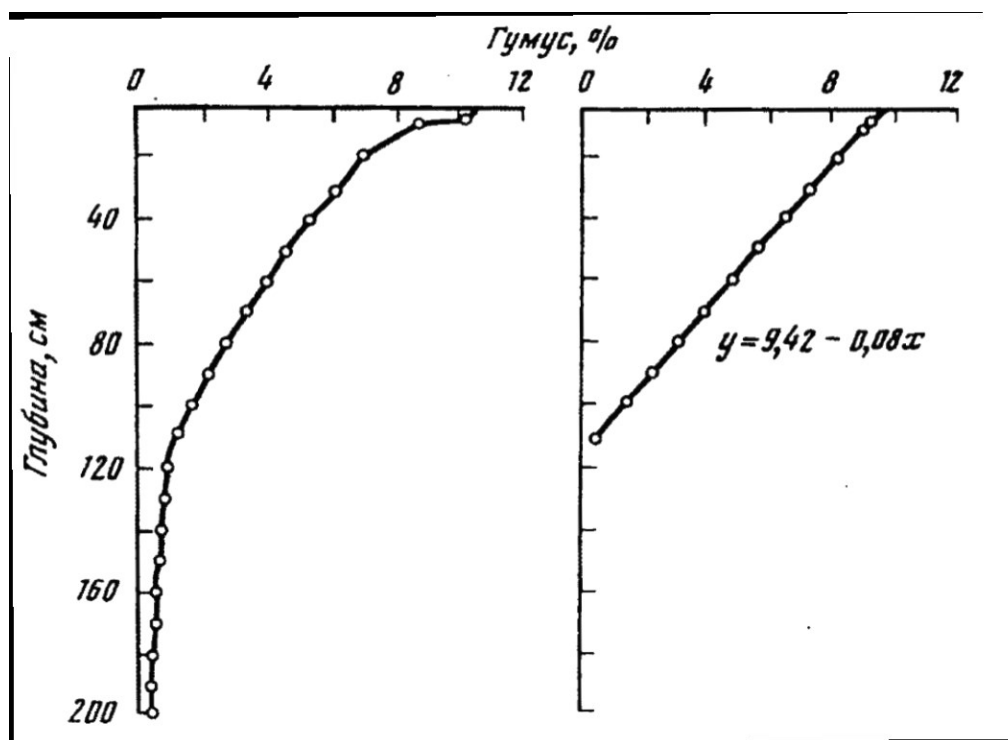


Рисунок 11. Профильное распределение, уравнение и теоретическая линия регрессии гумуса в профиле черноземов Окско-Донской и Южнорусской почвенных провинций (усредненные данные) (цит. по: Д.И. Щеглову, 1999)

Д.И. Щеглов (1999), анализируя данный показатель, отметил, что градиент падения количества гумуса в профиле черноземов неодинаков: в верхней части до глубины 30-40 см отмечается резкое или даже "скачкообразное" снижение содержания гумуса. Ниже этого слоя величина градиента уменьшается и почти не меняется на всем протяжении гумусового профиля, что свидетельствует о плавном, как бы размытом, характере снижения здесь органического вещества. В подгумусовой толще (на границе перехода) градиент падения вновь резко уменьшается и затем стабилизируется, но на значительно более низком уровне по сравнению со средней частью профиля.

Отмеченные различия в типах распределения и величинах градиента падения гумуса в пределах профиля черноземов указывают на неодинаковость процессов гумусонакопления в различных частях исследуемой толщи (Щеглов, 1999).

Подобное изменение в характере градиента падения содержания гумуса, можно наблюдать и в исследуемой нами почве на Рисунок 13 и Рисунок 123.

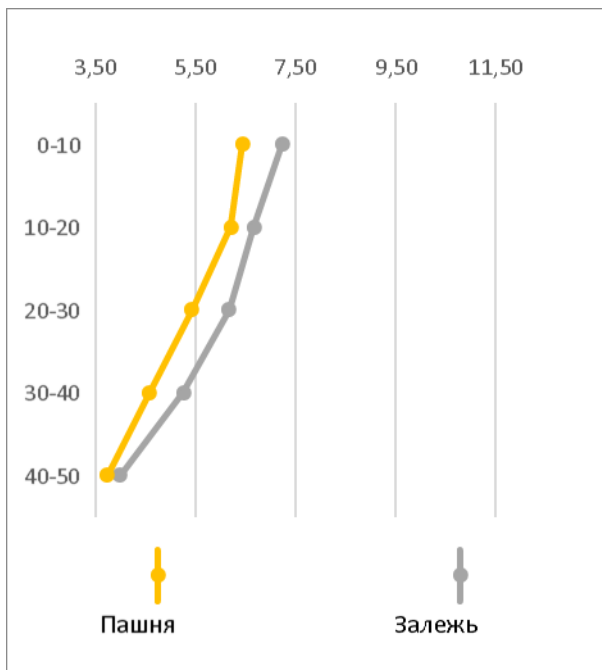


Рисунок 13. Профильное распределение, гумуса в профиле черноземов пашни и залежи.

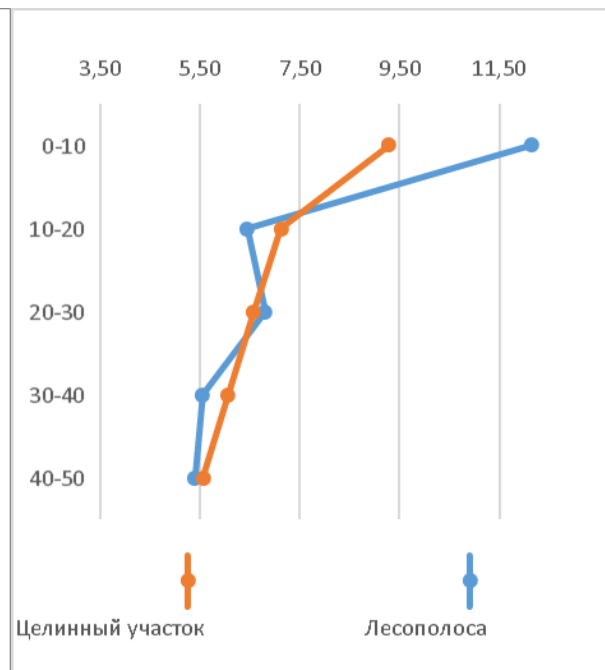


Рисунок 12. Профильное распределение, гумуса в профиле черноземов целинного участка и лесополосы.

Степень гумификации была средней для почв лесополосы и целинного участка и слабой для почв залежи и пашни, что, очевидно так же связано с интенсивным сельскохозяйственным воздействием.

4.2.1. Результаты группового анализа состава гумуса с выравненными концентрациями С_{ГК} + С_{Фк}.

Естественные почвы лесополосы и целинного участка характеризовались гуматным и гуматно-фульватным типом гумуса, отношение углерода гуминовых кислот (С_{ГК}) к углероду фульвокислот (С_{Фк}) в верхних 10 см. профиля достигает в них 2,12 и 2,18 соответственно и характеризуется как чисто гуматный тип гумуса (Орлов и др., 2004). Гумус постагрогенного чернозема залежи характеризуется гуматно-фульватным типом агротемногумусного горизонта и фульватным типом темногумусного. Агрогенный чернозем пашни же имеет фульватный тип гумуса.

Таблица 5. Групповой состав гумуса исследуемых объектов

Объект	Горизонт	Образец, глубина, см	Содержание С _{общ.} , %	Содержание гумуса, %	С _{ГК}	С _{Фк}	С _{ГК}	С _{Фк}	С _{ГК} /С _{Фк}
					% от воздушно-сухой навески		% от С _{общ.}		
Лесополоса	AU1	0-10	7,04	12,14	0,77	1,51	11	21	0,51
	AU2	10-20	3,74	6,45	0,55	1,08	15	29	0,51
	AU3	20-30	3,95	6,81	0,58	1,21	15	31	0,48
	AU4	30-40	3,22	5,56	0,57	1,13	18	35	0,51
	AU5	40-50	3,13	5,40	0,47	0,96	15	31	0,48
Целинный участок	AU1	0-10	5,39	9,29	0,92	1,38	13	19	0,67
	AU2	10-20	4,14	7,13	0,81	1,21	16	24	0,67
	AU3	20-30	3,82	6,58	0,67	1,01	31	46	0,67
	AU4	30-40	3,52	6,07	0,65	0,98	17	25	0,67
	AU5	40-50	3,23	5,57	0,57	0,93	34	55	0,61
Залежь	PU1	0-10	4,20	7,24	0,56	1,04	13	25	0,53
	PU2	10-20	3,87	6,68	0,54	1,02	14	26	0,53
	PU3	20-30	3,59	6,18	0,52	0,98	14	27	0,53
	AU4	30-40	3,06	5,27	0,42	0,78	14	26	0,53
	AU5	40-50	2,32	4,00	0,35	0,69	15	30	0,51
Пашня	PU1	0-10	3,74	6,45	0,47	1,13	13	30	0,42
	PU2	10-20	3,61	6,22	0,38	0,92	11	26	0,42
	PU3	20-30	3,16	5,44	0,34	0,82	11	26	0,42
	AU4	30-40	2,66	4,59	0,34	0,82	13	31	0,42
	AU5	40-50	2,17	3,75	0,24	0,57	11	26	0,43

Как было установлено, вниз по профилю всех почв с уменьшением содержания органического вещества в составе гумуса увеличивалась доля фульвокислот. При этом в случае агрогенной и постагрогенной почв доля фульвокислот была больше, чем в почвах целинного участка и лесополосы, отношение С_{ГК}/С_{Фк} в них равняется 0,45 для залежи и 0,43 для пашни, что по Д.С. Орлову (2004) соответствует очень фульватному типу гумуса.

Гумус почв целинного участка и лесополосы в целом можно охарактеризовать как гуматный и фульватно-гуматный, тогда как почв залежного участка и пашни — гуматно-фульватным и фульватным.

Во время проведения группового анализа состава гумуса, перед осаждением гуминовых кислот с помощью серной кислоты, мы разбавляли взятые аликвоты пирофосфатной вытяжки до известной на минимальной концентрации $C_{ГК} + C_{ФК}$ равной 0,5 мг С/ мл.

В результате, при выравнивании концентрации раствора гумусовых кислот перед осаждением гуминовых кислот отношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в профиле всех почв не менялось с глубиной и тип гумуса во всех почвах, кроме почвы пашни, оценивался как фульватный, в почве же пашни — как очень фульватный. Так же, выравнивание концентрации гумусовых кислот привело к тому, что степень гумификации во всех почвах оценивалась, как слабая.

Как известно, гуминовые вещества имеют коллоидную природу, это свойство не вызывает сомнения (Гедройц, 1912; Соколовский, 1919; Брэдфильд, 1936; Маттсон, 1938; Геммерлинг, 1952; Александрова, 1955; Антипов-Каратаев и др., 1956; Ремезов, 1957; Крупский, Лактионов, 1959; Горбунов, 1967; Хан, 1969). Тем не менее, до сих пор нет единого мнения относительно того, являются ли ГВ макромолекулами (системой полимеров с высоким коэффициентом полидисперности) или ассоциатами — стохастическими супрамолекулярными ансамблями, состоящими из относительно небольших молекул (Tschapek et al., 1981; Swift, 1999; Wershaw, 1999; Piccolo, 2001; Simpson, et al., 2002; Попов, 2004; Peña-Méndez et al., 2005; Шинкарев и др., 2007; Федотов, Шоба, 2013). Авторы разделяют точку зрения К. Стилинка (Steelink, 1999), согласно которой ГВ — макромолекулярные разновидности с фрактальными, мицеллярными или другими супрамолекулярными свойствами (Попов, Русаков, 2016).

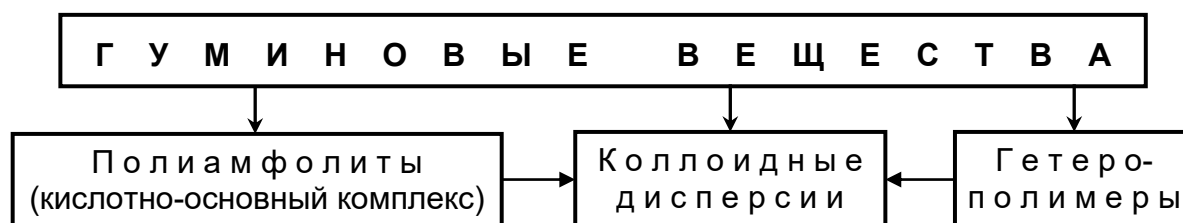


Рисунок 14. Схема организации гуминовых веществ.

По нашему мнению, щелочной раствор гумусовых кислот представляет собой устойчивую свободнодисперсную систему с равномерным распределением дисперсной

фазы по всему объему. Разделение же гумусовых кислот на гуминовые кислоты и фульвокислоты связано с проявлением разной агрегативной устойчивости этих соединений в зависимости от концентрации гумусовых кислот, величины водородного показателя (рН) и ионной силы раствора (Попов, Бурак, 1998; Роров, 1998). Агрегативную устойчивость (устойчивость к агрегации) дисперсной системы определяют по скорости коагуляции. Кроме того, агрегативная устойчивость обусловлена законами термодинамики. В такой дисперсной системе поверхностная энергия скомпенсирована энтропийной составляющей, благодаря чему система проявляет термодинамическую агрегативную устойчивость и в ней не происходит коагуляция (Фролов, 1988). В связи с этим именно потеря агрегативной устойчивости частиц дисперсной фазы ГВ (в частности, молекул гуминовых кислот) приводит к их коагуляции и, как следствие, к осаждению в сильно кислой (рН 1-2) среде.

Разделение гумусовых кислот на ГК и ФК основано на изменении агрегативной устойчивости молекул ГВ в сильно кислой среде. Так, потеря агрегативной устойчивости молекул, в частности ГК, приводит к их коагуляции и, как следствие, к осаждению, в растворе же остаются ФК, которые представляют собой свободнодисперсную агрегативно-устойчивую систему ГВ, мало зависящую от концентрации, величины водородного показателя (рН) и ионной силы раствора.

Гуминовые вещества, как коллоидные дисперсные системы, могут образовывать не только третичную, но и четвертичную структуру. В создании пространственного структурного каркаса дисперсных систем ГВ участвуют разнообразные связи. Такой тип взаимодействия приводит к образованию рыхлой сети надмолекулярных комплексов (Попов, 2004). При ассоциации молекулы ГВ образуют трёхмерные «псевдомицеллы» (van Wandruska et al., 1999), в которых молекулы отделены друг от друга гидратными оболочками. Сфероидные структуры ГВ, в свою очередь, могут быть ассоциированы в агрегаты, напоминающие по форме гроздь винограда (Кононова, 1963), точнее, мицеллярные сфероиды ГВ способны образовывать надмолекулярные комплексы — связнодисперсные коллоидные системы (четвертичные структуры). Такие пространственные молекулярные комплексы ГВ были отнесены И. И. Лиштваном с сотрудниками (1976) к эластичным студням, т. е. к таким веществам, которые при удалении воды весьма значительно сжимаются, сохраняя эластичность и способность к набуханию; однако после высушивания до некоего нижнего предела влажности студни необратимо сжимаются и теряют способность набухать в воде (Попов, Русаков, 2016).

В подкисленном растворе гумусовых кислот (рН 1–2) ГК представляют собой агрегативно неустойчивую систему. Однако при большом разбавлении щелочного

раствора гумусовых кислот (например, в 20-30 раз) ГК в осадок не выпадают даже при рН 1, т. е. при определенных условиях (в частности, при низкой концентрации) ГК могут находиться в агрегативно устойчивом состоянии в широком диапазоне рН (Попов, Бурак, 1998; Роров, 1998).

Фульвокислоты легко растворимы в воде и способны образовывать сильно кислые (например, рН 0,01 н. раствора ФК 2,5–2,6, а 0,005 н. раствора 3,0) и весьма концентрированные водные растворы. С одно- и двухвалентными катионами (например, с K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ФК образуют водорастворимые соли, однако в сильнощелочной среде (рН > 10) часть ФК (более интенсивно окрашенная) может осаждаться ионами кальция и бария. С трехвалентными катионами (например, с Fe^{3+} и Al^{3+}) ФК могут или выпадать в осадок, или образовывать водорастворимые комплексные соединения, в зависимости от условий (Пономарева, Плотникова, 1980). С позиций коллоидной химии раствор ФК представляет собой свободнодисперсную агрегативно-устойчивую систему ГВ, мало зависящую от концентрации, величины водородного показателя (рН) и ионной силы раствора (Попов, Бурак, 1998; Роров, 1998).

Отдельные участки и молекулы ГВ в целом могут характеризоваться на основе гидрофобно-гидрофильных свойств (Орлов, 1990; Милановский и др., 1993). Наличие гидрофильных и гидрофобных (липофильных) участков в молекулах ГВ обуславливает их поверхностно-активные свойства (Лактионов, 1978; Попов, Бурак, 1998; Роров, 1998). Поскольку ГВ представляют собой поверхностно-активные вещества, то они способны образовывать ассоциированные мицеллы (Hayase, Tsubota, 1983; Shinozuka, Lee Chen, 1990; Piccolo, 1997). Причём, американскими исследователями (Engelbreton, Von Wandruszka, 1997) было найдено, что небольшие по размеру и более жёсткие фрагменты гуминовых кислот не способны образовывать структурные псевдомицеллярные домены (ассоциаты) (Попов, Русаков, 2016).

Обобщая результаты полученных данных, можно сказать, что максимальное содержание гумуса в слое 0-10 см наблюдалось в почвах целинного участка и лесополосы (12,14 и 9,29 %, соответственно), в случае почв залежи и пашни, этот показатель был ниже (7,24 и 6,45 %, соответственно).

Вниз по профилю всех почв с уменьшением содержания органического вещества в составе гумуса увеличивалась доля фульвокислот. При этом в случае агрогенной и постагрогенной почв доля фульвокислот была больше, чем в почвах целинного участка и лесополосы. Гумус почв целинного участка и лесополосы в целом можно охарактеризовать как гуматный и фульватно-гуматный, тогда как почв залежного участка и пашни — гуматно-фульватным и фульватным.

При выравнивании концентрации раствора гумусовых кислот перед осаждением гуминовых кислот отношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в профиле всех почв не менялось с глубиной и тип гумуса во всех почвах, кроме почвы пашни, оценивался как фульватный, в почве же пашни — как очень фульватный.

Выравнивание концентрации гумусовых кислот привело к тому, что степень гумификации ранее оцениваемая как средняя для почв лесополосы и целинного участка и слабая для почв залежи и пашни, во всех почвах оценивалась, как слабая.

Выводы.

Трудноокисляемая часть почвенного органического вещества преобладала во всех исследованных объектах (49,5–74,7 %).

Доля легкоокисляемой фракции уменьшалась вниз по гумусовому горизонту на залежном участке и пашне, тогда как в гумусовых горизонтах целинного участка и лесополосы доля легкоокисляемого органического материала возрастала с глубиной.

На основе вычисленных величин вурфа и информационной энтропии по К. Шеннону, было выявлено, что залежный участок практически восстановился в постантропогенный период, а состояние органического вещества почв целинного участка и лесополосы было идентично.

Максимальное содержание гумуса в слое 0-10 см наблюдалось в почвах целинного участка и лесополосы (12,14 и 9,29 %, соответственно), в случае почв залежи и пашни, этот показатель был ниже (7,24 и 6,45 %, соответственно).

Как было установлено, вниз по профилю всех почв с уменьшением содержания органического вещества в составе гумуса увеличивалась доля фульвокислот. При этом в случае агрогенной и постагрогенной почв доля фульвокислот была больше, чем в почвах целинного участка и лесополосы.

Гумус почв целинного участка и лесополосы в целом можно охарактеризовать как гуматный и фульватно-гуматный, тогда как почв залежного участка и пашни — гуматно-фульватным и фульватным.

Степень гумификации была средней для почв лесополосы и целинного участка и слабой для почв залежи и пашни.

При выравнивании концентрации раствора гумусовых кислот перед осаждением гуминовых кислот отношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в профиле всех почв не менялось с глубиной и тип гумуса во всех почвах, кроме почвы пашни, оценивался как фульватный, в почве же пашни — как очень фульватный.

Выравнивание концентрации гумусовых кислот привело к тому, что степень гумификации во всех почвах оценивалась, как слабая.

Литература

- Адерихин П.Г. Почвы Воронежской области. Воронеж: Изд-во Воронеж, ун-та, 1963. 264 с.
- Адерихин П.Г., Ахтырцев А.Б. Групповой и фракционный состав гумуса лугово-черноземных почв Окско-Донской равнины // Химия, физика и мелиорация почв. Воронеж, 1980. С. 3-15.
- Адерихин П.Г., Одноралова В.М. Содержание и состав гумуса в основных типах почв Тамбовской области Ц Почвы Европейской части СССР и пути их рационального использования. Воронеж, 1972. С. 44-56.
- Адерихин П.Г., Шевченко Г.А. О географических закономерностях гумусообразования в почвах Центрально-Черноземных областей // Биол. науки. 1969. № 3. С. 127-130.
- Адерихин П.Г., Шевченко Г.А. О составе гумуса почв лесного массива "Третьяк" Воронежской области // Почвы Европейской части СССР и пути их рационального использования. Воронеж, 1972. С. 63- 70.
- Адерихин П.Г., Шевченко Г.А. Состав гумуса черноземов Центрально-Черноземной полосы и его изменение при окультуривании // Агрохимия. 1968. №5. С. 82-89.
- Адерихин П.Г., Шевченко Г.А., Шевченко В.М. Фракционный состав и свойства гуминовых кислот почв ЦЧО // Физико-химические свойства почв и их плодородие. Воронеж, 1981. С. 3-11.
- Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. 287 с.
- Александрова Л. Н. О природе перегноя // Записки Ленингр. с.-х. ин-та. Л.-Пушкин, 1955. Вып. 9. С. 88-89.
- Александрова Л.Н. Гумусовый режим пахотных дерново-подзолистых почв и пути его регулирования// Гумус и почвообразование/ Науч. труды Ленингр. с.-х. ин-та. - 1977. - Т. 329. - С. 3-16.
- Антипов-Каратаев И. Н., Келлерман В. В., Горбунов Н. И. О коллоидно-химической природе почвенного агрегата // Труды Третьей Всесоюзн. конф. по коллоидной химии. М., 1956. С. 171–181.
- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
- Арчегова И. Б. Гумусообразование на севере Европейской территории СССР. – Л.: Наука, 1985. 135 с.

- Афанасьева Е.А. Черноземы Среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
- Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Почвенный покров Среднерусского Черноземья. Воронеж: Изд-во Воронеж, ун-та, 1993. 214 с.
- Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Экологические проблемы интенсивного использования почвенного покрова Среднерусского Черноземья // Почвенный покров Среднерусского Черноземья. Воронеж: Изд-во Воронеж, ун-та, 1993. С. 188-207.
- Ахтырцев Б.П., Шевченко Г.А. Лесные черноземы среднерусской лесостепи // Научные записки Воронежского отдела географического общества СССР. Воронеж, 1974. С. 60-75.
- Берштейн В. А., Егоров В. М. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров. – Л.: Химия, 1990. 256 с.
- Большаков А.Ф. Водный режим мощных черноземов Средне-Русской возвышенности. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 200 с.
- Бреус Н.М., Михновская АД. Сезонная динамика органического вещества в черноземах // Почвоведение. 1976. № 12. С. 51-59.
- Брэдфильд Р. Новейшие исследования в области почвенных коллоидов и значение их для классификации почв // Почвоведение. 1936. № 3. С. 382-390.
- Быстрицкая Т.Л., Нечта Л.Н., Снакин В.В. Гумус в почве степного биогеоценоза Приазовья // Почв. -биогеоценоз. исслед. в Приазовье. 1978. Вып. 3.
- Ваксман С. Гумус: Происхождение, химический состав и значение его в природе. М.: Сельхозгиз, 1937. 471 с.
- Гедройц К. К. Коллоидная химия в вопросах почвоведения. 1. Коллоидные вещества в почвенном растворе. Образование соды в почве. Щелочные солонцы и солончаки // Журнал опытной агрономии. 1912. Т. 13. Кн. 3. С. 363–420.
- Геммерлинг В. В. Опыт характеристики гумусовых веществ почвы на основании их коллоидно-химических свойств // Учён. записки Моск. ун-та. 1952. Вып. 141. С. 15–36.
- Герасимов И.П. Абсолютный и относительный возраст почв // Почвоведение. 1969. № 5. С. 27—32.
- Герцык В.В. Сезонная динамика гумуса в мощных черноземах // Тр. Центр. - Чернозем. заповедника. 1959. Вып. 5. С. 315-337.
- Горбунов Н. И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия. М.: Наука, 1967. 160 с.

Гришина Л. А., Орлов Д. С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения / Советские почвоведы к 6-му Междунар. конгрессу почвоведов в Канаде, 1978 г. — М.: Наука, 1978. С. 42-47.

Докучаев В.В. Русский чернозем. Т. 1. М.: Сельхозгиз, 1948. 480 с.

Егунов В. П. Введение в термический анализ: монография. — Самара, 1996. 270 с.

Зезюков Н.И., Дедов А.В. Содержание лабильного органического вещества в пахотных черноземах Центрально-Черноземной зоны // Почвоведение. 1994. № 10. С. 54-58.

Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С. и др. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М.: Изд-во Моск. с.-х. акад., 1993. 99 с

Коковина Т.П. Водный режим мощных черноземов и влагообеспеченность на них сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1974. 304 с.

Коковина Т.П. Состав лизиметрических вод в мощных черноземах под целинной травяной растительностью // Тр. Центр. -Чернозем, заповедника. 1965. Вып. 8. С. 264-281.

Колтакова П.Д., Шевченко Г.А. О влиянии длительной культуры и систематического применения удобрений на содержание и состав гумуса выщелоченного чернозема // Агрохимия. 1966. № 5. С. 33-41.

Кононова М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с

Кононова М.М. Гумус главнейших типов почв СССР, его природа и пути образования // Почвоведение. 1956. № 3. С. 18-30.

Кононова М.М. Органическое вещество и плодородие почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 6-20.

Кононова М.М. Органическое вещество почв. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.

Кононова М.М. Формирование гумуса в почве и его разложение // Успехи микробиологии. 1976. Вып. 2. С. 134-151.

Кравков С.П. Биохимия и агрохимия почвенных процессов. Л.: Наука, 1978. 291 с.

Крупский Н. К., Лактионов Н. И. К вопросу о коллоидно-химических исследованиях гумуса чернозема как дисперсной системы // Труды Укр. НИИ почвоведения. 1959. Т. 4. С. 109–119.

Лаврентьев В.В. Органическое вещество целинных и освоенных почв. М.: Наука, 1972. 162 с.

Лактионов Н. И. Гумус как природное коллоидное поверхностно-активное вещество. Харьков, 1978. 25 с.

Леваковский И.Ф. Некоторые дополнения к исследованию над черноземом // История учений о перегное. М.; П.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 333-347.

Лейфман И.Е. Гумификация в системе молекулярных механизмов стагнации биотического круговорота в экосистемах // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 92-97.

Лыков А. М., Черников В. А., Боинчан Б. П. Оценка гумуса по характеристике его лабильной части // Известия Тимирязевск. с.-х. акад. 1981. Вып. 5. С. 65–70

Марголина Н.Я., Александровский АЛ., Ильичев Б.А. и др. Возраст и эволюция черноземов. М., 1988. 144 с.

Маттсон С. Э. Почвенные коллоиды. Сборник главнейших работ С. Маттсона / Пер. с англ. М.: Огиз Сельхозгиз, 1938. 432 с.

Милановский Е. Ю. Амфифильные компоненты гумусовых веществ почвы // Почвоведение. 2000. № 6. С. 706–715

Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.

Мишустин Е.Н. Эколого-географическая изменчивость почвенных бактерий. М.; Л., 1947. 328 с.

Носко Б.С., Чесняк Г.Я., Полупан Н.И., Лисовский Н.В. Биологическая продуктивность и биологический круговорот элементов // Русский чернозем: 100 лет после В.В. Докучаева. М.: Наука, 1983. С. 176— 186.

Орлов Д. С. Особенности спектров поглощения и распространение гуминовых кислот Р-типа в почвах СССР // Почвоведение. 1968. № 10. С. 49–59.

Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. — М.: Наука, 1996. 254 с.

Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.

Орлов Д.С. Биогеохимические принципы и правила гумусообразования // Почвоведение. 1988. № 7. С. 83-91.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.

Орлов Д.С. Кинетическая теория гумификации и схема вероятного строения гуминовых кислот // Биол. науки. 1977. № 9. С. 5-16.

Орлов Д.С. Процесс гумификации и информативность показателей гумусного состояния почв И Современные проблемы почвообразования. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 28-41.

Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Изд-во МГУ, 1993. С. 16-27.

Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ. 1985. 375 с.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // Почвоведение. 1984. № 8. С. 39-49.

Орлов Д.С., Гришина Л.А., Ерошичева Н.Л. Практикум по биохимии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1969. 159 с.

Орлов Д.С., Иванушкина К.Б. Гуминовые вещества в биосфере, народно-хозяйственное значение и экологическая роль // Почвоведение. 1991. № 2. С. 152-156.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918-926.

Отчет от НИР "Изучение мелиоративного состояния черноземов при выращивании сельскохозяйственных культур в орошаемом семипольном кормовом севообороте" / Науч. рук. Г.Г. Еремина. Каменная Степь, 1983. 54 с. Деп. в ВНТИУ 15.02.84, № 0063418.

Пономарёва В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). – Л.: Наука, 1980. 222 с.

Пономарева В.В. О генезисе гумусового профиля черноземов // Почвоведение. 1974. № 7. С. 27-38.

Пономарева В.В. О методах выделения и химической природе фульвокислот//Почвоведение. 1947. № 12. С. 714-723.

Пономарева В.В. О реакциях взаимодействия группы креновой и апокреновой кислот (фульвокислот) с гидроокисями оснований // Почвоведение. 1949. № 11. С. 638-651.

Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. Биохимические аспекты. М.; JL: Наука, 1964. 379 с.

Пономарева В.В., Мясникова А.М. К характеристике процесса гумусообразования в дерново-карбонатных почвах // Почвоведение. 1951. № 12. С. 721-735.

Попов А. И., Русаков А. В. Хемодеструкционное фракционирование органического вещества почв // Почвоведение. 2016. № 6. С. 663-670

Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / Под ред. Е.И. Ермакова. СПб.: Изд-во С.- Петерб. ун-та, 2004. 248 с.

Попов А. И., Бурак А. Ю. Коллоидно-химические свойства гуминовых веществ // Гумус и почвообразование / Сб. научн. трудов С.-Петербург. гос. аграрн. ун-та. СПб., 1998. С. 26-30.

Попов А. И., Цыплёнков В. П. Способ определения форм гумуса / Патент РФ № 4921349 (004478) приоритет от 11.01.91, действует с 1994 г.

Попов А. И., Чертов О. Г. Биогеоценотическая роль органического вещества почв // Вестник С.-Петербург. ун-та. 1996. Серия 3. Биология. Вып. 2. С. 88–97.

Практикум по полевому почвоведению (по природным зонам) / Под ред. А. А. Хантулева, О. Г. Растворовой. Изд-во ЛГУ, 1980.

Прасолов Л.И. Чернозем как тип почвообразования // Почвы СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1939. Т. 1. С. 225-229.

Пупков А. М. Окультуривание почв Нечернозёмной зоны РСФСР. — Л., 1989. 20 с.
Разработка комплекса мероприятий по повышению эффективности использования орошаемых земель: Отчет о НИР. Каменная Степь, 1983.

Ремезов Н. П. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. М.: Сельхозгиз (Гос. изд-во. с.-х.. лит-ры), 1957. 224 с.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.

Розанов Б.Г. Генетическая морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. 293 с.

Рупрехт Ф.И. Геоботанические исследования о черноземе // Зап. Акад. наук. 1866. Т. 10. С. 1-131.

Савич В.И. Варьирование свойств почв во времени и пространстве // Докл. ТСХА. 1971. Вып. 162. С. 10-13.

Самойлова Е.М., Толчельников Ю.С. Эволюция почв. М.: Изд-во МГУ, 1991. 90 с.

Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 301 с.

Соколовский А. Н. Из области явлений, связанных с коллоидной частью почвы // Известия Петровск. с.-х. акад. 1919. Вып. 1–4. С. 85–225.

Сонин А. С. Постигание совершенства. – М.: Знание, 1987. 208 с.

Тюрин И.В. Географические закономерности гумусообразования // Труды юбилейной сессии АН СССР, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. М.; JL: Изд-во АН СССР, 1949. С. 85-101.

Тюрин И.В. Из результатов работ по изучению состава гумуса в почвах СССР // Пробл. сов. почвоведения. 1940. Сб. 11. С. 173-188.

Тюрин И.В. Некоторые результаты работ по сравнительному изучению состава гумуса в почвах СССР // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1951. Т. 38. С. 22-32.

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

Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: Учение о почвенном гумусе. М.; Л.: Сельхозгиз., 1937. 287 с.

Тюрин И.В. Почвенные исследования в Чувашской республике: Отчет о работе 1-й почвенной партии Чувашской экспедиции Академии наук в 1927 г. // Чувашская Республика. Л.: Изд-во АН СССР, 1929. Сб. 1. С. 109-180.

Тюрин И.В. Состав и свойства гумуса черноземов Стрелецкой степи // Вопросы генезиса и плодородия почв. М.: Наука, 1966. С. 9-21.

Тюрин И.В. Состав и свойства гумуса черноземов Стрелецкой степи // Тр. Центр. - Чернозем. заповедника. 1948. Вып. 2. С. 79-102.

Федотов Г. Н., Шоба С. А. Существующие представления о возможных путях формирования гумусовых веществ в почвах // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1523–1529.

Фокин А.Д. Участие различных соединений растительных остатков в формировании и обновлении гумусовых веществ почвы // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 60–65.

Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М., 1988.

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

Химический анализ почв. Учеб. пособие/ Растворова О. Г., Андреев Д. П., Гагарина Э. В., Касаткина Г. А., Федорова Н. Н. – СПб, 1995.

Черкинский А.Е. Радиоуглеродный возраст почвенного органического вещества и его значение для теории гумификации (на примере чернозема и дерново-подзолистой почвы): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 25 с.

Черников В.Н. Структурно-групповой состав гумуса // Почвоведение. 1992. № 10. С. 62-69.

Шевченко Г.А. Гумус основных почв ЦЧО, его состав, свойства и изменение при сельскохозяйственном использовании: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 1967. 24 с.

Шевченко Г.А., Бирюкова Т.А. Влияние орошения на содержание и состав гумуса обыкновенных черноземов // Мелиорация и рекультивация почв Центрального Черноземья. Воронеж, 1984. С. 28-34.

Шевченко Г.А., Щербаков А.П. Гумусное состояние черноземов ЦЧО // Почвоведение. 1984. № 8. С. 50-56.

Шинкарев А. А., Гиниятуллин К. Г., Мельников Л. В. и др. Органические компоненты глино-металло-органического комплекса почв лесостепи (теоретические и экспериментальные аспекты изучения). Казань: Казанск. гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина, 2007. 248 с.

Шурыгина Е. А., Ларина Н. К., Чубарова М. А. и др. Дифференциально-термический и термовесовой анализы гумусовых веществ почв // Почвоведение. 1971. № 6. С. 35–44.

Щеглов Д.И. Черноземы центра русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов / Д.И. Щеглов М.: Наука, 1999. – 214 с.

Щеглов Д.И., Королев В.А., Брехова Л.И. и др. Групповой и фракционный состав гумуса черноземов ЦЧО и его изменение в условиях орошения // Научные основы и практические приемы повышения плодородия почв Урала и Поволжья. Уфа, 1988. С. 145-146.

Щербаков А.П. Формы азота в почвах Центрально-Черноземной полосы / А.П. Щербаков - Воронеж, 1968. - 324 с.

Beyer L. The chemical composition of soil organic matter in classical humic compound fractions and in bulk samples—a review // Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 1996. Bd. 159. S. 527-539.

Djuricic M., Murphy R. C., Vitorovic D., Biekmann K. Organic acids obtained by alkaline permanganate oxidation of kerogen from the Green River (Colorado) shale // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1971. Vol. 35. P. 1201–1207.

Dormaar J. F. Alkaline cupric oxide oxidation of roots and alkaline-extractable organic matter of chernozemic soils // Can. J. Soil Sci. 1979. Vol. 59. No 11. P. 27–35.

Engebretson R. R., Von Wandruszka R. The effect of molecular size on humic acid associations// Organic Geochemistry. 1997. V. 26. Is. 11-12. P. 759–767.

Haiber K, The synthesis and degradation of humic substances in soil // Trans. XIII Congr. Intern. Soc. Soil Sci., Hamburg, 13-20 Aug., 1986. Hamburg, 1987. Vol. 6. P. 644-656.

Hayase K., Tsubota H. Sedimentary humic acid and fulvic acid as surface active substances // Geochim. Cosmochim. Acta. 1983. V. 47. P. 947–952.

Hayes M. Studies on soil humic substances // J. Sci. Food Agr. 1985. Vol. 36, N 4. P. 272-279.

Hayes M. H. B. Concepts of the Origins, Composition, and Structure of Humic Substances // Advances in Soil Organic Matter Research: The Impact on Agriculture and Environment / Ed. W. S. Wilson. Advisory Eds T. R. G. Gray, D. J. Greenslade, R. M. Harrison and M. H. B. Hayes. — Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1991. P. 299–314.

Hedges J.I. Polimerization of humic substances in natural environments // Humic substances and their role in the environment. Chichester etc., 1988. P. 45- 51.

Jenkinson D.S., Rayner J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments // Soil Sci. 1977. V. 123. № 5. P. 298–305. doi 10.1097/00010694-200606001-00018

Johnston A. E. Soil Fertility and Soil Organic Matter // Advances in Soil Organic Matter Research: The Impact on Agriculture and Environment / Ed. W. S. Wilson. Advisory Eds T. R. G. Gray, D. J. Greenslade, R. M. Harrison and M. H. B. Hayes. — Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1991. P. 299-314.

Kiyoshi T., Shozo K. Shemical studies on soil humic acids. V. Degradation of humic acids with potassium hydroxide // Soil Sci. and Plant Nutr. 1979. V. 25. N 2. P. 183–195.

Peña-Méndez E. M. Gajdošová D., Novotná K. et al. Mass spectrometry of humic substances of different origin including those from Antarctica—a comparative study // Talanta 2005. V. 67. P. 880–890. DOI: 10.1016/j.talanta.2005.03.032.

Persson J., Mattsson L. Soil C-changes and size estimates of different organic C-fractions in a Swedish long-term small plot experiment // Swed. J. Agr. Res. 1988. Vol. 18, N 1. P. 9-12.

Piccolo A. New Insights on the Conformational Structure of HS as Revealed by Size Exclusion Chromatography// The Role of HS in the Ecosystems and in Environmental Protection/ Eds. J. Drozd, S. S. Gonet, N. Senesi, J. Weber/ Proc. of the 8th Meeting of the IHSS (Wroclaw, Poland, September 9-14, 1996). — Wroclaw, Poland: PTSH Polish Society of HS, Polish Chapter of the IHSS, 1997. P. 21–35.

Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances // Soil Sci. 2001. V. 166. P. 810–832. DOI: 10.1097/00010694-200111000-00007.

Popov A. I., Tsiplenkov V. P., Nadporozhskaya M. A. The chemodestruction method for humus fractionating// Humus et Planta/ Proceedings, 10th Int. Symp.- Prague.- 1991.- P. 22.

Popov A. I., Tsiplenkov V. P., Nadporozhskaya M. A., Frumin G. T. An estimate of qualitative humus composition by the chemodestruction fractioning // Humic Substances in the Global Environment and Implications in Human Health / Abstracts, 6th Int. Meeting IHSS. – Italy. Monopoli (Bari). 1992. P. 240.

Popov A. I. On settlement of humic acids in strong acid solutions// Humic Substances Downunder: Understanding and managing organic matter in soils, sedi-ments and water/ Abs. and Program 9th Int. Meeting of the IHSS. Adelaide, 1998.

Rullkötter J., Michaelis W. The structure of kerogen and related materials. Areview of recent progress and future trends // Organic geochemistry. - 1990. V. 16. N 4–6. P. 829–852.

Schnitzer M. Humic substances, chemistry and reactions // Soil organic matter. Amsterdam, 1978. P. 1-27.

Schnitzer M. Humus Substances: Chemistry and Reactions // Soil Organic Matter / Eds. M. Schnitzer and S. U. Khan / Development of Soil Sci. No 8. – Ottawa, 1978. P. 1–64.

Schnitzer M. Skinner S. I. M. The peracetic acid oxidation of humic substances // Soil Sci. 1974. V. 118. N 5. P. 322–331.

Sehgal J.L, Stoops G. Pedogenic calcite accumulation in arid and semi-arid regions of the Indo-Gangetic Alluvial plain of erstwhile Punjab (India). Their morphology and origin // Geoderma. 1972. Vol. 8. P. 59-72.

Shinozuka N., Lee Chen Aggregate formation of humic acids from marine sediments// Mar. Chem. 1990. V. 33. P. 229–241.

Simpson A. J., Kingery W. L., Hayes M. H. B. et al. Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment // Naturwissenschaften. 2002. V. 89. P. 84–88. DOI: 10.1007/s00114-001-0293-8.

Stearman G.K., Lewis RJ., Tortorelli LJ. et al. Characterization of humic acids from no-tilled and tilled soils using carbon-13 nuclear magnetic resonance // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1989. Vol. 53, N 3. P. 744-749.

Steelink C. What is Humic Acid? A Perspective of the Past Forty Years // Understanding Humic Substances. Advanced Methods, Properties and Applications / Eds E. A. Ghabbour, G. Davies, C. Steelink. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1999. P. 1–8.

Stevenson F.I Humus chemistry. N.Y., 1982. 323 p.

Swift R. S. Macromolecular properties of soil humic substances: Fact, fiction, and opinion // Soil Sci. 1999. V. 164. No. 11. P. 790–802.

Swift R. S. Organic Matter Characterization // Methods of Soil Analysis / Part 3. Chemical Methods / SSSA Book Series no. 5. – Madison, Segoe Rd: SSSA and ASA, 1996. P. 1011-1069.

Tschapek M., Wasowski C., Torres Sánchez R. M. Humic acids as colloidal surfactant // Plant and Soil. 1981. V. 63. P. 261–271. DOI: 10.1007/BF02374604

Wendlandt W. Thermal Analysis / Chemical analysis / 3rd edition. Vol. 19. – Wiley, 1986. 421 p.

Wershaw R. L. Molecular aggregation of humic substances // Soil Sci. 1999. V. 164. No. 11. P. 803–813.