

УДК 631.417.2:631.423

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОДУКТОВ ДЕГРАДАЦИИ ГУМУСОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ

В.А. ЧЕРНИКОВ, И.М. ЯШИН

(Кафедра экологии)

Рассмотрены методологические принципы изучения продуктов деградации гумусовых соединений почв агроландшафтов таежной зоны. Выделены экологические и химические аспекты проблемы. В первом случае гумусовые вещества диагностируются как своеобразный продукт динамично функционирующей мезосистемы: почва (почвенный покров) — компоненты экосистемы, во втором — обосновываются достоинства и недостатки современных инструментальных методов анализа для оценки структурно-статистических параметров микросистемы гумусовых соединений на молекулярном уровне. Приведены некоторые критерии и параметры оценки продуктов деградации гумусовых соединений почв, интенсивно используемых в земледелии Подмоскovie.

Разработка экологических критериев оценки деградации гумусовых соединений (ГС) и нормирование техногенных нагрузок на почвы и другие компоненты агроландшафтов — сложные и актуальные проблемы. В значительной мере они обусловлены негативными результатами часто необоснованного, а нередко и агрессивного техногенного воздействия на компоненты биосферы — почву, растительность, природные воды и т.д. Результат подобной деятельности сейчас уже хорошо известен почвоведом, геохимикам, экологам, земледелам и ландшафтоведом: это пов-

семестное загрязнение и даже разрушение геосфер Земли [1, 3, 4, 7, 11, 13, 15, 17, 21].

Отсюда возникает острая необходимость проведения комплексных эколого-химических исследований (т.е. мониторинг) данного явления на разных уровнях организации вещества. Для отдельных экосистем и ландшафтов необходимо осуществить экологическую экспертизу.

Уникальным объектом (своеобразным природным индикатором), способным адекватно отразить воздействие продуктов техногенеза (в частности, токсикантов) на экосистемы, по-видимому, могут быть натив-

ные ГС почв, в которых биогеохимические потоки веществ и энергии не только «замыкаются», но и своеобразно трансформируются [1, 5, 17].

Решение поставленной задачи в известной мере также зависит от правильного выбора системы методов исследований, которые должны отличаться определенностью выявляемых диагностических параметров и быть по возможности совершенными. Этим критериям отвечают, как известно, современные инструментальные методы физико-химического анализа: они настроены на конкретные технологические (аналитические) процессы и «язык» ряда фундаментальных научных дисциплин — физики, химии и математики [19]. Использование такого рода методов при изучении нативных ГС на молекулярном уровне позволяет познавать фундаментальные основы их структурно-групповой организации, состояния и свойств, а также диагностировать процессы формирования, трансформации и др. Кроме того, чтобы получить достоверную информацию о ГС почв, необходимо отобрать репрезентативные образцы (в вертикальной и горизонтальной координатах почвы), используя фактические сведения, например, о структуре почвенного покрова стационара [23].

Методологические подходы к разработке критериев оценки деградации ГС

Структурно-групповая диагностика ГС почв на молекулярном уровне стала возможной в последние 20—30 лет благодаря использованию современных физико-химических мето-

дов — пиролитической масс-спектрометрии, хроматографии и др. Ряд исследований [8, 12, 13, 19—22] позволил не только установить главные закономерности состава и коллоидно-химических свойств разных типов почв, но и выявить интересные особенности трансформации молекулярных структур ГС под воздействием обработки почвы, удобрений и мелиорации. Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной [3, 12] была разработана и обоснована концепция гумусового состояния почв, некоторые положения которой непосредственно связаны с проблемой деградации ГС.

Ряд крупных работ был посвящен агрономической оценке органического вещества [4, 7, 10, 11, 18]. Авторами сделан, в частности, принципиально важный вывод о том, что абстрактно, вне конкретной экосистемы и реально функционирующей почвы, нельзя рассматривать ни процессы, например гумусообразования, ни сами новообразованные продукты — гумусовые вещества.

Несмотря на достигнутые успехи, некоторые актуальные вопросы химии ГС остаются неизученными. Так, еще специально не рассматривалась проблема, связанная с оценкой интенсивности и характером деградации ГС. На наш взгляд, это обусловлено 4 основными причинами: 1 — дефицитом экологического мышления; 2 — недооценкой масштабности и глубины происходящих взаимодействий жидких, твердых и газообразных продуктов техногенеза (в том числе и различных токсикантов) с компонентами биосферы Земли и самим человеком, ответственным за насыщение геосфер планеты не утилизируемыми отхо-

дами производств; 3 — известной неопределенностью терминологии (нечетко определены понятия «деградация», «трансформация» ГС и др.); неразработанностью понятий «деградированная» почва агроландшафтов (за исключением случаев, связанных с разрушением почвенного покрова и генетических горизонтов почв).

Возникает закономерный вопрос: какую почву принять за фон? Лесную? Однако, например, в смешанных лесах Подмосковья почвенный покров характеризуется высокой пестротой и контрастностью почвенных процессов [25]. Причем в развитии таких почв важную и активную роль играют гравитационные потоки воды и растворенных в ней органических веществ [5, 6]. Может быть, стоит использовать почву залежи? Данный подход не исключен, но следует учитывать при этом различия на качественном уровне: неоднозначное функционирование естественной травяной экосистемы и возделываемой культуры. На наш взгляд, в качестве фона наиболее корректно использовать почву стационара, в которую не вносили удобрений и химических средств защиты растений (целевые продукты техногенеза) и которая пространственно залегает рядом с другими вариантами опыта. Можно выделить и иные причины, однако среди них есть наиболее типичная: стремительные темпы загрязнения экосистем Земли токсикантами, с одной стороны, и ограниченный уровень знаний о происходящих явлениях — с другой.

Учитывая исключительную сложность структурной и функциональной организации системы ГС почв,

необходимо упростить постановку задачи, выделив отдельные ее аспекты. В принципе подобное разделение существует уже давно [14, 17]. Оно отражает 2 направления в изучении ГС: химическое (структурная диагностика на молекулярном уровне) и биогеохимическое (функциональное — экосистемный уровень).

Структурная диагностика ГС опирается на современные физико-химические методы анализа. В качестве объекта здесь используются препараты ГС (твердые порошки или коллоидные гидрогели). Результаты опытов отражают статическое состояние объекта. Это направление успешно развивали С. Ваксман, М.М. Кононова, С.С. Драгунов, Д.С. Орлов и др.

Функциональные особенности ГС исследуются в лабораторных и натуральных опытах главным образом с помощью методов радиоактивных индикаторов, лизиметров и хроматографии. При этом изучается собственно динамика состава, свойств, а также процессов формирования и трансформации ГС в конкретной экосистеме [18, 23, 24]. Наиболее прогрессивные взгляды отражены в работах В.Р. Вильямса (обоснование биологического направления при изучении почв), И.В. Тюрина, В.В. Пономаревой, И.С. Кауричева, А.Д. Фокина и др.

Оба указанных выше направления самобытны и используются не в качестве альтернативных, а как способы получения взаимодополняющих сведений об уникальной роли ГС в биосферных процессах.

Рассмотрим классификацию основных процессов, обуславливающих деградацию молекул ГС, а также уточним терминологию.

Собственно деградация ГС почв агроландшафтов — совокупность химических, физико-химических и биохимических процессов, протекающих в почвах той или иной экосистемы как с участием химически активных антропогенных продуктов, так и почвенных процессов — оглеения, засоления, осолодения и др., которые способствуют существенным изменениям их молекулярных структур и свойств (ухудшению этих параметров с агрономической точки зрения).

Воздействия, вызывающие процессы деградации ГС на мезо- и микроуровнях в почвах, целесообразно дифференцировать на 2 группы — косвенные и прямые. *Первые* — это преднамеренные техногенные разрушения почвенного покрова и генетических горизонтов (вскрышные, строительные, дорожные работы и др.), а также естественные природные процессы — водная и ветровая эрозии, пожары, оползни на склонах, временное затопление участков почв паводками и др. [4].

Во второй группе следует выделить внешние и внутренние. Внешние: действие солнечной энергии (квантов света), атмосферных газов и кислотных дождей, кинетическое влияние латеральных потоков воды и растворенных в ней веществ, тепловое воздействие энергии Солнца в почвах степной, субтропической и тропической зон Земли. Внутренние процессы необходимо разделить на естественные (типичные) и нетипичные, спровоцированные продуктами антропогенного генезиса. Естественные процессы определяются спецификой влияния растительных организмов (имеющих преобладающую биомассу в экосистемах) на

молекулярные структуры ГС как непосредственно через компоненты водорастворимых органических веществ (ВОВ) с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами, так и косвенно — через функционирующую микрофлору [6, 24—26].

Нетипичные процессы по-своему уникальны в каждой экосистеме: стремительные сукцессии живых организмов и исчезновение отдельных их видов; появление в составе органо-минерального комплекса почв нехарактерных обменных ионов (простых и сложных); включение в молекулы ГС продуктов разрушения пестицидов, нарушающих функции ГС и ослабляющих их буферную емкость (показатели гомеостаза); включение в биогеохимические циклы радионуклидов и тяжелых металлов в форме мобильных металлорганических комплексов с последующей аккумуляцией в живых организмах и др.

По фактору воздействия предлагаем прямые процессы деградации ГС разделить на химические (и физико-химические) и биохимические. Диагностика этих процессов характеризует ранний этап превращения молекул ГС.

Химические (и физико-химические) процессы деградации ГС обусловлены устойчивой (или периодической) трансформацией молекулярных структур последних, происходящей при целенаправленном воздействии на почвы и ГС химически активных продуктов техногенеза — легкорастворимых минеральных удобрений (т.е. солей), ПАВ, пестицидов, кислот и щелочей, нефти и других горюче-смазочных материалов, а также соединений, содержа-

щих ионы тяжелых металлов, ртуть, радионуклиды и т.д.

Биохимические процессы деградации ГС могут быть вызваны периодической (в пространстве и времени) активизацией деятельности групп микроорганизмов [2]. Наблюдается как непосредственное воздействие микрофлоры на зрелые и термодинамически устойчивые формы ГС (с помощью ферментов и пр.), так и опосредованное влияние на них низкомолекулярных органических кислот, полифенолов и других кислотных продуктов жизнедеятельности организмов, которые продуцируются, как известно, в ответ на неблагоприятные условия среды. В первом случае деструкция молекул ГС происходит вследствие явного дефицита свежего органического вещества (растительного субстрата) и ГС используются микрофлорой в качестве единственного источника энергии и элементов питания. Во втором — присутствие токсикантов (в частности, ионов тяжелых металлов и др.) вызывает сукцессии микроорганизмов, так или иначе приводящие к доминированию грибов — активных кислотообразователей — и патогенных видов, которые легко адаптируются к продуктам техногенеза. Их приспособление, по-видимому, обусловлено нейтрализацией негативных свойств, присущих многим ионам металлов — Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} и др.; органическими лигандами, в частности ВОВ [2, 16].

В составе ВОВ почв таежной зоны присутствуют органические соединения индивидуальной и специфической природы, в том числе ПАВ, стимуляторы и ингибиторы роста, компоненты с кислотными и ком-

плексообразующими свойствами [2, 5, 6].

Различают частные (коллоидно-химические) и общие (экологические) особенности ВОВ. Первые обусловлены своеобразием их состава, а вторые — отражают взаимосвязи между различными группами живых организмов реальной экосистемы. Коллоидно-химические параметры ВОВ (как, впрочем, и гумусовых веществ) определяются дифильностью их молекул, способностью последних к реакции ассоциации в водных растворах, в результате которой образуются качественно новые (термодинамически устойчивые) конвергентные макроструктуры органических и металлорганических соединений, в частности с развитой поверхностью фаз, приобретающие таким образом возможность к сорбции веществ и склонность к последующим изменениям своего молекулярного состава и свойств. Фактически так и формируются начальные фрагменты (по-видимому, универсальные структурные блоки ГС), «доработка» которых завершается после их сорбции зрелыми молекулами. На языке кинетики — это явление автокаталитичности: подобное воспроизводит подобное [26]. Данный процесс изменения прежних и образования новых ГС непрерывен и периодичен. Их соотношение в принципе и составляет основу трансформации молекул гумусовых веществ [18]. Однако следует выяснить, как и с какой скоростью реализуются данные процессы?

В современных условиях, когда экосистемы Земли испытывают мощную антропогенную нагрузку, анализ экологии ВОВ становится

основополагающим при оценке процессов и продуктов трансформации токсикантов, ГС и др. В частности, экологические функции ВОВ обуславливают темп и масштаб мобилизации токсикантов из инертных (труднорастворимых) продуктов техногенеза, химическую активность гидрофобных структур ГС, обновление и формирование новых молекул ГС, явление аллелопатии, почвенно-геохимическую миграцию веществ и др. Однако анализ такого рода — предмет отдельной статьи.

Процессы деградации ГС на мезоуровне (при частичном или полном разрушении генетических горизонтов почв) изучались разными авторами в связи с разработкой проблемы эрозии почвенного покрова [11, 15].

На наш взгляд, косвенные процессы, обусловленные механической денудацией и дефляцией почвенного покрова, играют существенную роль как в уменьшении общих запасов гумуса почв, так и в профильной дифференциации масс ГС. Однако данные процессы нецелесообразно рассматривать в качестве диагностических при оценке собственной деградации ГС. В литературе отсутствуют фактические сведения, полученные на основе использования современных инструментальных методов анализа ГС эродированных почв, а значит, и нет доказательств существенных изменений молекулярных структур ГС, происходящих при эрозии.

В этой связи косвенные процессы, вызывающие действительно масштабную деградацию почвенного покрова (и одновременно пространственное — механическое — перемещение масс ГС в составе мел-

козема), за исключением длительного затопления почв паводковыми водами, не рассматриваются при разработке данной проблемы.

До сих пор неполно обоснованы фоновые параметры ГС, выделенных из пахотных почв, не испытывающих воздействия целевых продуктов техногенеза — удобрений, ядохимикатов и т.д. Имеющиеся показатели оценки гумусового состояния почв [3] удобны для выявления их генезиса, но они не вскрывают специфики изменений ГС на молекулярном уровне в различных экологических ситуациях.

На первом этапе наших исследований предпринята попытка охарактеризовать деградацию ГС, препаративно выделенных из фоновых почв стационара. Такой подход обусловлен как начальным этапом изучения процессов и продуктов деградации ГС, так и существенным дефицитом информации, полученной с использованием современных физико-химических методов о строении и превращении ГС, соотношении алифатических (поляризованных) и гидрофобных фрагментов и т.д.

Критерии диагностики продуктов деградации ГС. На основе комплекса инструментальных методов, использованных для диагностики продуктов деградации ГС пахотных почв таежной зоны, разработана система структурно-статистических критериев, раскрывающих специфику трансформации молекулярных структур ГС почв в условиях техногенеза.

1. *Элементарный и функциональный анализы:* 1 — содержание углерода и азота; 2 — атомное отношение Н/С и С/Н; 3 — степень окис-

ленности; 4 — содержание карбоксильных и гидроксильных групп; 5 — графостатистический анализ данных элементного состава ГС с построением диаграммы Н/С — О/С по Ван-Кревелену [12, 20, 21]; 6 — аминокислотный состав гидролизатов ГС, вычисление отношения алифатических аминокислот к сумме ароматических и гетероциклических веществ.

2. *Спектрофотометрия в видимой области*: 1 — «гуматность» ГС, рассчитанная по отношению гуматов (солей) к гумусовым кислотам.

3. *ИК-спектроскопия*: 1 — съемка дифференциальных спектров поглощения для выявления природы связи ГС с минеральной частью почв; 2 — интенсивность поглощения ароматических компонентов (продуктов); 3 — интенсивность поглощения карбоксильных групп, карбоксилат-ионов.

4. *Дериватографический анализ*: 1 — количество органического вещества, закрепившегося в почве за определенный период, — по потере массы; 2 — прочность связи ГС по максимальной температуре разрушения; 3 — количество компонентов распада периферической и центральной частей молекул ГС и вычисление их соотношения; 4 — масса воды, содержащаяся в ГС (1-й эндотермический эффект).

5. *Пиролитическая масс-спектрометрия*: 1 — анализ динамики процессов дегидратации, декарбоксилирования, выделения неароматических компонентов и отдельных групп ароматических соединений; 2 — состав и количество газообразных, жидких неароматических и ароматических продуктов, анализ

данных структурно-группового состава ГС; 3 — соотношение газообразных и жидких продуктов как показатель соотношения лабильной и стабильной частей ГС; 4 — соотношение неароматических и ароматических компонентов как показатель степени ароматичности (для почв солонцовых комплексов целесообразно исследовать коллоидно-химические свойства ГС).

В соответствии с поставленной задачей комплекс названных выше методов физико-химического анализа может изменяться и дополняться другими методами — хроматографией, радиоактивных индикаторов, сорбционных лизиметров и т.д.

Ниже приводятся результаты конкретных исследований продуктов деградации ГС, выделенных препаративно из неудобренной дерново-подзолистой почвы.

Методика

Объектами исследований служили гуминовые соединения — кислоты и соли, выделенные препаративно [20] из дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы длительного опыта (варианты обработок на 8—10 и 20—22 см без удобрений), заложенного на учхозе «Михайловское» Тимирязевской академии (опыт № 6 профессора А.И. Пупониной). Почвенные образцы массой 4—6 кг отбирали после уборки возделываемых культур из 18 точек (полуям) элементарных почвенных ареалов по слоям 0—10; 10—20 и 20—30 см, составляя из них смешанные пробы по каждому слою [15]. Для пептизации ГС применяли 0,1 М раствора NaOH. На 2—3 кг почвы добавляли

20 л пептизатора. Добивались предельного выделения ГС из образцов, что требует значительного времени. Однако эта аналитическая операция оправдывается добываемой объективной информацией о системе ГС. Гуминовые кислоты от фульвокислот отделяли по обычной методике [14]. Гидрозоль ГС вначале центрифугировали для полного удаления тонкодисперсных минеральных частиц, а затем диализовали, контролируя электрическую проводимость гидрозоля и промывных вод. Процесс диализа длится 3—3,5 мес.

Содержание С, Н, N в препаратах ГС определяли на автоматическом анализаторе фирмы «Паккард», а кислорода — по разности. Для диагностики структурных изменений в молекулах ГС рассчитывали атомные проценты, что позволяет точнее оценить содержание указанных химических элементов в органических веществах. Степень окисленности (ω) ГС рассчитывали по Орлову [12].

Съемку ИК-спектров проводили на приборе UR-20 (Германия) методом таблетирования с КВг в диапазонах волновых чисел от $4 \cdot 10^3$ до $2,6 \cdot 10^3$ и от $1,9 \cdot 10^3$ до 700 см^{-1} . Напомним, что ИК-спектр является своеобразным «отпечатком пальцев» конкретной органической молекулы, поэтому этот метод весьма репрезентативен [9, 20].

Съемку масс-спектров ГС осуществляли на модернизированном масс-спектрометре МХ-1303, пиролиз ГС — в вакууме со скоростью нагрева 10°C в 1 мин в диапазоне температур $25—800^\circ \text{C}$. За один эксперимент снимали 20—25 спектров. Особенности обработки масс-спек-

тров и достоинства данного метода при оценке трансформации структур ГС освещены в работах [19—22].

Результаты

По данным ИК-спектроскопии, все виды обработок почвы длительного стационарного опыта № 6 в учхозе «Михайловское» способствовали усилению разветвленности алифатических цепочек в структурах гуминовых кислот (ГК) верхних слоев почвы (наличие полосы поглощения $—\text{CH}_3$ групп при 2960 см^{-1}). Причем наиболее разветвленными оказались молекулы ГК варианта опыта с обработкой почвы на глубину 8—10 см (где сосредоточивается основная масса опада и где активно формируются ВОВ). Характерно, что все виды обработок приводили к трансформации поляризованных групп — COOH в солевую форму. Это принципиально важный факт, поскольку новообразованные продукты более инертны, чем их аналоги, обогащенные свободными функциональными группами. При всех видах обработок отмечалось увеличение количества кислородсодержащих фрагментов в молекулах ГК.

С помощью метода пиролитической масс-спектрометрии было, в частности, установлено, что в составе пиролизатов ГК (независимо от вида обработки дерново-подзолистой почвы) количество газообразных продуктов почти в 2 раза превышало количество жидких и твердых (табл. 1). Среди последних доминировали неароматические соединения: их было примерно в 2 раза больше, чем ароматических.

**Структурно-групповой состав гуминовых кислот дерново-
подзолистой почвы (фон)**

Продукты пиролиза	Поверхностная обработка на 8—10 см		Вспашка на 20—22 см	
	0—10	10—20	0—10	10—20
Сумма газообразных продуктов, %	65,40	62,30	69,80	63,50
В т.ч.:				
CO ₂	20,50	16,50	22,70	18,60
CO	22,70	23,00	18,20	20,70
H ₂ O	18,80	18,50	25,00	20,80
CН ₄	1,58	1,47	1,82	1,54
Сумма жидких и твердых продуктов, %	36,40	37,70	30,20	36,50
В т.ч. соединений:				
неароматических	22,30	23,00	20,20	24,60
ароматических	12,30	14,70	10,00	11,90
Соотношение газообразных и жидких продуктов	1,89	1,65	2,31	1,74
Соотношение неароматических и ароматических соединений	1,81	1,56	2,02	2,07

Вспашка почвы на 20—30 см способствовала увеличению общей лабильности ГК и усилению их алифатической природы.

Таким образом, в условиях таежных ландшафтов поверхностной обработкой почвы в большей мере, чем вспашке, присущи защитные экологические функции, заключающиеся в предохранении нативных ГК от деградации.

При поверхностной обработке (на 8—10 см) наблюдалось скачкообразное изменение в верхних слоях масс углерода и кислорода (табл.2), что, по-видимому, связано с обогащением нативных ГК в слое 20—30 см миграционными формами ВОВ: миграция углерода ВОВ из гор. А₁ (8 см) составляла 24—36 г/м² в год.

Судя по атомному отношению Н/С наименее сложной структурой об-

ладают ГК поверхностно обрабатываемых почв. Здесь в молекулах ГК диагностировано значительное количество лабильных компонентов. В варианте с отвальной вспашкой на 20—22 см наблюдалось разрушение алифатических цепочек в составе структур ГК при одновременном (относительном) накоплении гидрофобных ядерных фрагментов.

По степени окисленности наиболее окисленными были ГК слоя 10—20 см в варианте поверхностной вспашки.

Графостатистический анализ ГК показал, что во всех вариантах обработок почвы отчетливо выражен процесс деградации. Это следует из диаграммы средних мольных отношений Н/С и О/С. Атомы Н и О теряются, очевидно, в соотношении 2:1 (возможно, в форме —ОН функциональных групп).

Элементный состав и степень окисленности гуминовых кислот*

Глубина отбора образцов, см	C	H	N	O	H/C	O/C	Степень окисленности, ω
<i>Поверхностная обработка на 8—10 см</i>							
0—10	43,33	4,68	4,75	47,24	1,29	0,82	+0,35
	31,28	40,21	2,95	25,56			
10—20	37,61	4,10	4,83	53,46	1,30	1,07	+0,83
	28,74	37,37	3,21	30,67			
20—30	45,18	4,75	4,38	45,69	1,25	0,76	+0,28
	32,30	40,46	2,66	24,75			
<i>Вспашка на 20—22 см</i>							
0—10	50,89	5,30	4,69	39,12	1,24	0,58	-0,08
	34,50	42,80	2,77	19,94			
10—20	47,20	4,87	4,84	43,09	1,23	0,68	+0,14
	33,31	40,93	2,94	22,80			
20—30	40,23	4,34	4,45	50,98	1,99	0,95	+0,62
	29,99	38,59	2,87	28,56			

* Числитель — массовые проценты, знаменатель — атомные.

Уменьшение окисляемости активных ГК дерново-подзолистых пахотных почв, по-видимому, связано с незначительными масштабами мобилизации и миграции ВОВ при дефиците растительного опада. В этих условиях ВОВ, отличающиеся ярко выраженными восстановительными функциями, менее активно сорбируются матрицей ГК, незначительно обновляя ее устойчивые (зрелые) фрагменты. Поэтому метод И.В. Тюрина позволяет судить именно о степени окисляемости гумуса [14].

В табл.3 приведены относительные параметры продуктов деграда-

ции ГК. Целесообразность введения такого рода показателей, характеризующих как своеобразие продуктов деградации ГС, так и их количество, обусловлена тем, что почвы любого конкретного типа, подтипа, рода и разновидности имеют свои конкретные количественные (абсолютные) особенности, которые некорректно сводить в какие-то общие градации.

В этой связи нами введены поправочные коэффициенты (табл.4), которые в дальнейшем будут уточняться. На данном этапе изучения продуктов деградации ГС они удобны,

поскольку отражают как особенности гумификации и минерализации ГС, так и их неодинаковую устойчи-

вость к воздействию удобрений, химических меллиорантов и других химических соединений.

Т а б л и ц а 3

**Параметры деградации ГК пахотных дерново-подзолистых почв
(% к ГК недеградированных почв)**

Диагностический показатель	Деградация		
	слабая	средняя	сильная
Содержание С, ат. %	85—90	75—85	75
» N, ат. %	85—90	80—85	80
Степень окисленности, ω	80—85	75—80	75
Ат.отн. Н/С	80—85	75—80	75
Ат.отн. С/Н	85—90	80—85	80
Соотношение периферических и центральных частей молекул	85—90	80—85	80
Выход из молекул ГС безнолполикарбоновых кислот, %	80—85	75—80	75
Соотношение неароматических и ароматических соединений	80—85	75—80	75

Т а б л и ц а 4

Эмпирические поправочные коэффициенты для оценки степени деградации ГС почв разного гранулометрического состава почв

Степень деградации ГС	Песок	Супесь	Легкие суглинки	Средние суглинки	Тяжелые суглинки и глины
Недеградированные почвы	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Деградация:					
слабая	1,25	1,25	1,10	1,05	1,05
средняя	1,45	1,30	1,20	1,25	1,15
сильная	1,60	1,45	1,30	1,35	1,20

З а к л ю ч е н и е

С использованием оригинальной методики [20] проведен системный (физико-химический) анализ продуктов ранней деградации ГС почв, активно используемых в техноген-

ных агроландшафтах таежной зоны.

В первом приближении обоснованы критерии, а также комплекс показателей, с помощью которых в известной мере удалось диагностировать качественное состояние но-

вообразованных продуктов деградированных молекул ГС и установить ряд количественных изменений, например, в соотношении таких основных их фрагментов, как лабильные (химически активные) и ароматические (консервативные) группы.

Параметры деградации ГС представлены в виде относительных величин, поскольку абсолютные величины признаков деградации существенно варьируют на типовом уровне и по гранулометрическому составу. При этом за 100% принимаются значения показателей фоновых — недеградированных ГС (гуминовых кислот и фульвокислот, выделенных из почв препаративно). Установленные значения показателей деградации ГС следует корректировать, умножая их на поправочный коэффициент, отражающий степень деградации ГС в зависимости от гранулометрического состава почв.

Поставленная задача решена только в общем виде, поскольку пока рассмотрен один аспект проблемы — оценка деградации (ухудшения) молекулярных структур ГС и фоновых дерново-подзолистых почв агроландшафтов.

Требуется разработка и другого ее аспекта — оценки процессов и продуктов деградации ГС, которые при техногенном использовании зональных пахотных почв не только не ухудшаются, но и претерпевают определенные положительные (с агрономической точки зрения) изменения, благоприятно воздействующие на биоту почвы и на продуктивность культурных фитоценозов [3, 4, 7, 11, 14].

Фактический материал по деградации ГС почв таежных агролан-

дшафтов свидетельствует об острой необходимости изучения механизма подобных реакций, которые протекают при непосредственном участии групп микроорганизмов, различных продуктов техногенеза и компонентов ВОВ, отличающихся ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв. Баку, 1978. — 2. Аристовская Т.В. Разложение гумусовых веществ микроорганизмами. — В кн.: Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980, с. 46—54. — 3. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. — 4. Кауричев И.С. Агрономическая характеристика почв. Учеб. пособие. М.: Изд-во МСХА, 1989. — 5. Кауричев И.С., Яшин И.М. Образование водорастворимых органических веществ в почвах как стадия превращения растительных остатков. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 1, с. 47—57. — 6. Кауричев И.С., Яшин И.М., Нмадзуру И. Исследование биогеохимических функций водорастворимых органических веществ почв таежных экосистем с помощью метода сорбционных лизиметров. — Изв. ТСХА, вып. 1, с. 94—106. — 7. Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С. и др. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М.: Изд-во МСХА, 1993. — 8. Комиссаров И.Д. Химическая природа гумусовых веществ, их образование и тран-

сформация в биосфере. — В сб.: Проблема гумуса в земледелии. Тез. докл., Новосибирск, 1986, с. 7—9. — 9. *Конциц В.А., Черников В.А.* Применение ИК-спектроскопии для исследования органического вещества почв. Учеб. пособие. М.: Изд-во МСХА, 1990. — 10. *Лактионов Н.И.* Закономерности трансформации органических коллоидов в черноземах при их сельскохозяйственном использовании. — Автореф. докт. дис., 1974. — 11. *Лыков А.М.* Гумус и плодородие почвы. М.: Моск. рабочий, 1985. — 12. *Орлов Д.С.* Теоретические и прикладные проблемы химии гумусовых веществ. — В сб.: Итоги науки и техники. Сер. Почвовед. и агрохим. М., 1979, т. 2. — 13. *Орлов Д.С.* Биогехимические принципы и правила гумусообразования. — Почвоведение, 1988а, № 7, с. 83. — 14. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. — 15. *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. — 16. *Савич В.И.* Методика определения фракционного состава органического вещества почв на основе конкурирующего комплексобразования. — В сб.: Органическое вещество и плодородие почв. М.: Изд-во МСХА, 1993, с. 34—42. — 17. *Тейт Р.Ш.* Органическое вещество почвы. М.: Мир, 1991. — 18. *Фокин А.Д.* Главные составляющие гумусового баланса почв и их количественная оценка. — В сб.: Органическое вещество и плодородие почв. М., 1983, с. 3—16. — 19. *Хмельницкий Р.А., Лукашенко Р.А., Черников В.А., Крымский Я.Я.* Ос-

новные принципы масс-спектрометрического анализа пиролизатов гумусовых кислот. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 6, с. 193—208. — 20. *Черников В.А.* Комплексная оценка гумусового состояния почв. — Сибир. вестн. с.-х. науки, 1987, № 5, с. 7—13. — 21. *Черников В.А.* Структурно-групповой анализ как показатель трансформации гуминовых кислот интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы. — Почвоведение, 1984, № 5, с. 48—55. — 22. *Черников В.А., Теплер Е.З., Конциц В.А., Майорова Л.Г.* Воздействие *Micromonospora chalcea* на состав и свойства гуминовых кислот торфа и подзолистой почвы. — Изв. ТСХА, 1982, вып. 1, с. 87—91. — 23. *Яшин И.М.* Элементы симметрии и асимметрии почвенного покрова таежно-лесной зоны. — Изв. ТСХА, 1988, вып. 2, с. 78—86. — 24. *Яшин И.М., Кауричев И.С.* Роль низкомолекулярных органических кислот в абиогенной трансформации гумусовых веществ в почвах таежно-лесной зоны. — Изв. ТСХА, 1992, вып. 5, с. 36—49. — 25. *Яшин И.М., Кауричев И.С.* Превращение растительных остатков и формирование групп гумусовых соединений в подзолистых почвах таежных биоценозов Русской равнины. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 4, с. 42—53. — 26. *Яшин И.М., Черников В.А., Кауричев И.С.* Кинетика трансформации растительных остатков в подзолистых почвах европейского Севера. — Изв. ТСХА, 1990, вып. 6, с. 56—65.

Статья поступила 15 октября 1994 г.

SUMMARY

Methodological concepts in studying products of degradation of humic compounds in soils of taiga agrolandscapes are considered. Ecological and chemical aspects of the problem are highlighted. In the first case, humic substances are diagnosed as distinctive product of dynamically functioning mesosystem: soil (soil cover) — ecosystem components; in the second — advantages and disadvantages of modern instrumental methods of analysis for estimating structural-statistical parameters of humic compounds microsystem on molecular level are substantiated. Some criteria and parameters in estimating the products of degradation of humic compounds in soils that are intensively used in farming of Moscow region are presented.