

УДК 631.445.41

ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА КОАГУЛЯЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВЕННЫХ СУСПЕНЗИЙ

© 2020 г. Г. Н. Курочкина*

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Московская область, Пущино, 142290 Россия*

**e-mail: colloid41@rambler.ru*

Поступила в редакцию 03.04.2019 г.

После доработки 29.05.2019 г.

Принята к публикации 20.06.2019 г.

Изучена адсорбция гуминовой кислоты и ее влияние на коагуляционную устойчивость почвенных суспензий. На примере серой лесной почвы и ее составляющих (илистой фракции и материнской породы) и чернозема изучена адсорбция гуминовой кислоты (препарат фирмы Aldrich-Chemie) из разбавленных водных растворов. Физико-химическими методами исследования показано, что адсорбция гуминовой кислоты на всех объектах определяется временем взаимодействия, концентрацией гуминовой кислоты, а также свойствами и концентрацией твердой фазы и может сопровождаться ионным обменом. По изменению объемов осадка установлено влияние адсорбции гуминовой кислоты на коагуляционную устойчивость почвенных суспензий, которая сопровождается выделением гелеобразного осадка и увеличением времени осветления суспензии. В результате показано, что устойчивость суспензий возрастает с повышением концентрации гуминовой кислоты и зависит от типа почвы.

Ключевые слова: глинистый минерал, серая лесная почва (Eutric Retisol (Loamic, Cutanic, Ochric)), чернозем (Luvic Chernozem (Pachic)), гуминовая кислота, адсорбция, коагуляция, стабилизация

DOI: 10.31857/S0032180X20010104

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что важнейшими факторами, определяющими структуру и сложение почв, являются состав и свойства поверхности почвенных частиц. Поэтому любое изменение состояния поверхности неизбежно ведет к изменению агрегатного состояния почв, их структуры и сложения. В частности, поглощение органических веществ глинистыми минералами и почвами приводит к существенному изменению поверхностных свойств минералов, устойчивости их агрегатов.

В соответствии с общими принципами физико-химической механики, одним из важнейших этапов формирования структурного тела является взаимодействие структурообразующих частиц, определяемое природой поверхности частиц дисперсной фазы [23]. При их модифицировании, адсорбционном или химическом можно влиять на структурообразование природных минералов и почв. Во многих работах рассматривалась зависимость свойств структурного тела от природы поверхности адсорбционно-модифицированных частиц минерала [1, 3, 9–13, 24, 27–29]. Например, монтмориллониты, модифицированные путем насыщения межпачетных промежутков катионами алкиламинов с длинными цепочечными структурами органоглины, используют для погло-

щения неионных токсичных органических соединений [1, 26]. Проблема взаимодействия органических веществ специфической природы с глинистыми минералами и почвами является наиболее актуальной в почвоведении. Интерес к изучению органо-минеральных взаимодействий в мировой литературе обусловлен не только выяснением механизма образования гумуса и формирования почвенного поглощающего комплекса, но и в связи с экологическими проблемами, связанными с антропогенным загрязнением почв органическими и минеральными токсикантами. Например, в работе [30] дана оценка дескриптивной (описательной) способности двух интегральных биотических индексов, полученных на основе лабораторных экспериментальных данных о действии гуминовых препаратов на микробиоту в условиях загрязнения медью образцов модельного субстрата, из песка, каолина и торфа. Для обобщения результатов экотоксикологических исследований загрязненных образцов (660 мг Cu/кг) и интегральной оценки воздействия гуминовых препаратов на их биотическую составляющую использовали статистическую модель с применением функции желательности Харрингтона и интегральный параметр благополучия почвенной микробной системы (тест-культуры). Установлено, что гуминовые препараты стимулируют многовидовые бактери-

альные комплексы, тогда как тест-культуры, представляющие высшие растения и водоросли, менее чувствительны к внесению гуматов. Автор считает, что для полноты и большей надежности системы биотических показателей при экологическом нормировании следует ориентироваться на применение интегрального подхода, основанного на обобщенной функции желательности.

При сорбции ионов Cu^{2+} и Zn^{2+} гуминовыми кислотами тундровой торфяно-глеевой почвы в работе [17] рассчитаны кинетические и термодинамические параметры сорбции этих ионов на ГК. Установлено, что сорбция исследованных ионов тяжелых металлов препаратами ГК достоверно аппроксимируется кинетическим уравнением реакции псевдопервого порядка. Отрицательные значения изменения энергии Гиббса при температурах 298.0 и 314.3 К для ионов Cu^{2+} (–26.2 и –24.5 кДж/моль соответственно) и для ионов Zn^{2+} (–22.2 и –22.0 кДж/моль соответственно) свидетельствуют о возможности самопроизвольного протекания сорбции ионов данных металлов в исследованном диапазоне температур. Величины изменения энтальпии сорбции –33.1 кДж/моль для ионов Cu^{2+} и –4.5 кДж/моль для ионов Zn^{2+} указывают, что обе реакции являются экзотермическими. Показано, что с увеличением температуры константа сорбционного равновесия для ионов Cu^{2+} заметно снижается, в то время как для ионов Zn^{2+} ее изменение незначительно. Уменьшение значений констант сорбционного равновесия с ростом температуры указывает на смещение равновесия в сторону десорбции, что является характерным признаком физической сорбции и указывает на возможность двух механизмов связывания ионов на поверхности препаратов ГК – физическая и хемосорбция.

Следовательно, интерес и трудность решения экологических проблем при загрязнении почв различными токсикантами связана с большой сложностью и недостаточной изученностью строения молекул гумусовых кислот (гуминовых и фульвокислот), а также со сложным и гетерогенным составом почвы. В частности, на взаимодействие органических молекул с почвенными минеральными компонентами существенно влияет природа и характер поверхности минерала, величина pH и содержание воды в почве и др. факторы. Хорошо известно, что органо-минеральные взаимодействия активно протекают в почвах и являются одним из основных механизмов структурообразования и регулирования дисперсности и физико-химических свойств образующихся агрегатов [3, 27–29, 32]. Так, изучение агрегативной стабильности глинистых частиц хронорядной текстурно-дифференцированных почв Чехии показало, что интенсивная обработка почвы сдвигает равновесие коллоидной системы в сторону коагуляции, а после вывода пахотных почв из сельско-

хозяйственного производства и восстановления на них естественной растительности коллоидная система имеет тенденцию к восстановлению исходного состояния. То есть равновесие сдвигается в сторону пептизации, о чем свидетельствовала тенденция к увеличению значения ξ -потенциала [32]. Кроме того, в работах Артемьевой и Кирилловой [3] рассматривается роль органо-минеральных взаимодействий в структурообразовании и гумусообразовании основных типов почв центра Русской равнины. Описан модифицированный вариант гранулометрического метода фракционирования, что позволяет выделять функционально значимые компоненты органического вещества почвы разной локализации в почвенной матрице. Данный подход позволяет наиболее адекватно оценить микростроение почвы. В работе [35] пересматривается концепция органо-минеральных комплексов глины в хронологической последовательности.

Образование минералоорганических соединений на поверхности почвенных агрегатов и почвенных минеральных компонентов за счет адсорбции органических молекул модифицирует поверхность, придавая ей специфичность и избирательные сорбционные свойства. В результате существенным образом меняется подвижность компонентов почвенного органического вещества, химическая и энергетическая неоднородность поверхности глинистых минералов и аморфных соединений кремния, алюминия и железа, тем самым, изменяется, погложительная и миграционная способность металлов в почвах. Появление органо-минеральных новообразований или поверхностных соединений даже в небольших количествах оказывает значительное влияние на агрегативную устойчивость суспензий, структурно-сорбционные свойства, обменные и водно-физические свойства минералов и почв [10–13, 24, 31, 33, 34, 36–41]. В последнее время высказаны новые взгляды об организации почв: матричной, фрактальной [5, 27–29, 42–44], кластерной [10–13, 22].

В работах Федотова [27–29] выявлено наличие в почвах единого каркаса органо-минерального геля. Исследование коллоидно-химические свойств гелевых структур на поверхности твердых почвенных частиц позволило предположить, что гелевые структуры должны образовывать в почвах единый коллоидно-гелевый каркас, единую матрицу, включающую в себя почвенный раствор. Подобная коллоидно-гелевая матрица должна оказывать значительное влияние на свойства почв. Это позволяет взглянуть на почвы как на системы, в которых свойства почв могут определяться видом, состоянием и свойствами почвенных гелей, образованных гумусовыми веществами и неорганическими наночастицами. При этом коллоидные частицы располагаются в гумусовом студне упорядоченно, образуя фрактальные структуры, что характерно для всех изученных почв и почвенных горизонтов. Наличие в почвах единого

каркаса органо-минерального геля требует, по мнению автора, исследования дополнительных характеристик, таких как диффузионно-адсорбционные потенциалы, почвенный пьезоэффект, скорость диффузии веществ в почвах, их электрические и структурно-механические свойства.

Использование фрактальной размерности в качестве характеристики коллоидных структур и поверхностных свойств почвенных минералов и почв, описанных ранее [11], является перспективным для описания структурного состояния и кластерных свойств поверхности почв с адсорбированными полиэлектролитами. Следовательно, структурообразование почв, в том числе коагуляционная устойчивость почвенных суспензий в процессе адсорбции гуминовой кислоты, является мало изученной и актуальной проблемой в почвоведении.

Цель работы – исследование влияния адсорбированной гуминовой кислоты почвами на коагуляционную устойчивость почвенных суспензий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве минеральных объектов исследования использовали серую лесную почву (Eutric Retisol (Loamic, Cutanic, Ochric)) с опытной полевой станции ИФХиБПП РАН, г. Пушкино Московской области и чернозем выщелоченный (Luvic Chernozem (Loamic, Pachic)), отобранный в Крапивинском районе Тульской области, а также илстую фракцию серой лесной почвы. Илстая фракция имеет большое значение в почвенном плодородии. Она обладает высокой поглотительной способностью, содержит много гумуса и элементов зольного и азотного питания, способна к структурообразованию, увеличению агрегированности почвенной массы [31]. В настоящей работе илстую фракцию серой лесной почвы получали методом отмучивания [26]. Для этого готовили 3–5%-ную водную суспензию почвы, тщательно перемешивали ее с помощью механической мешалки до исчезновения комков и оставляли в покое в течение 50–60 мин, затем декантировали сифоном наиболее высокодисперсную фракцию. С помощью трехкратного отмучивания и центрифугирования с помощью работы центрифуги, развивающей 60000 об./мин), получали образец илистой фракции. Образцы анализировали с помощью рентгенографии и ИК-спектроскопии.

Минералогический состав илистой фракции серой лесной почвы, %: гидрослюда – 32.6, смектит + хлорит – 1.2, каолинит – 20.7, кварц – 38.3, микроклин – 7, органическое вещество – 1.81. Подробно данные о илистой фракции серой лесной почвы приведены в работах [2, 31].

Также в работе использовали образец почвообразующей породы серой лесной почвы. По данным Алифанова [2], наиболее распространенными материнскими породами серой лесной почвы являются карбонатные и бескарбонатные

лёссовидные суглинки мощностью 2–3 м. Они плащеобразно залегают на флювиогляциальных и моренных отложениях. Покровные лёссовидные породы представлены средними, тяжелыми суглинками и легкими глинами, среди фракций которых преобладает пылеватая. Состав первичных и вторичных минералов серых лесных почв определяется материнскими породами и фациальными условиями почвообразования. Глинистые минералы представлены в большинстве случаев монтмориллонитом, гидрослюдами и их смешанослоистыми сростками; каолинита мало. В иллювиальных горизонтах содержание глинистых минералов возрастает. В редких случаях суглинки бывают слегка опесчанены. В данной работе использовали бескарбонатный суглинок состава, %: гидрослюда – 32.6, смектит + хлорит – 1.2, каолинит – 20.7, кварц – 38.7.

Органическое вещество – гуминовая кислота (ГК) – особо чистый немецкий препарат фирмы Aldrich-Chemie D 7924 Stein heim Hummussaeure Natriumsalt в натриевой форме, выделенный из торфа. Элементный состав ГК, %: вода – 11.96 (расчет на сухое вещество); –COOH – 4.8, C – 41.9, H – 4.1, O – 50.4, N – 0.55, S – 1.84, М.м. ~ 829–830. Для характеристики данной ГК использовали ее ИК-спектр, полученный и описанный ранее [7]. По данным работ Орлова [18, 19] известно, что ИК-спектры ГК имеют характерный облик и постоянный набор полос поглощения, позволяющий отличить их от соединений других классов. Например, широкая сложная полоса в области 3600–2200 см⁻¹ состоит из полос поглощения валентных колебаний свободной гидроксильной группы (3600 см⁻¹) и гидроксильных групп, связанных межмолекулярными водородными связями 3448–3192 см⁻¹, а также незначительными полосами поглощения валентных колебаний NH-группы. Слабые полосы поглощения в высокочастотной области 2908, 2848, 2628 и 2328 см⁻¹ идентифицируются в области валентных колебаний –C–H, как полосы метильных и метиленовых группировок. Кроме того, указанные полосы обнаруживаются в области деформационных колебаний в интервале 1312–1372 см⁻¹ (несколько мелких полос). Полосы поглощения в диапазоне 1200–1216 см⁻¹ обусловлены, по-видимому, гидроксильной группой и группой =C–O–. Четко выделяются полосы деформационных колебаний гидроксильных групп спирта и полосы поглощения полисахаридов при 1056 см⁻¹. Карбоксильная группа COOH проявляется по полосе с максимумом 1744 см⁻¹. Часть карбоксильных групп находится в ионизированной форме, то есть свободная карбоксильная группа преобразуется в карбоксилатную с образованием солей ГК–COONa, которая интенсивно поглощает колебания при 1692, 1590, 1400–1390 см⁻¹. Кроме того, в спектре ГК в интервале 1604–1508 см⁻¹

Таблица 1. Физические и химические характеристики серой лесной почвы и чернозема

Почва	C _{орг} , %	ЕКО, сМ(р+)/ кг	pH H ₂ O	Ил, %	Удельная поверхность, м ² /г	ξ-потенциал, мВ
Серая лесная	1.33	17.80	6.45	14.3	8.86*, 11.5**	-22.6
Чернозем выщелоченный	2.89	9.93	6.9	22.8	9.54*, 69.62**	-14.0

Примечание. Удельная поверхность по азоту* и по воде**.

проявляются С=С связи алифатических и ароматических систем, а также азотсодержащие группировки. Последние сопутствуют почти всем важнейшим полосам в спектрах ГК и фульвокислот, поскольку азотистые группы поглощают в тех же интервалах частот, что и аналогичные им углерод- и кислородсодержащие группы. Известно, что переносные группы амид I проявляются при 1650 см⁻¹, амид II – при 1540 см⁻¹ [16–18]. Однако в спектре ГК они совпадают с ароматическими группировками (1604 и 1550 см⁻¹). Слабые ароматические группы проявляются при 748 и 848 см⁻¹. Основные физические и химические свойства исследуемых почв приведены в табл. 1.

Почвы значительно различаются по содержанию органического углерода и физико-химическими характеристиками, а также по гранулометрическому составу (табл. 2). Гранулометрический состав является одним из важнейших показателей плодородия почвы, так как влияет на водно-физические, физико-механические, воздушные и другие свойства почв. В настоящее время в нашей стране используется классификация гранулометрического состава почв по Качинскому [6]. В данной работе гранулометрический состав серой лесной почвы определяют пирофосфатным методом, а для чернозема применяли данные по Качинскому. Для характеристики гранулометрического состава почв использовали пахотные горизонты серой лесной почвы 0–20 см и чернозема 0–12 см.

Эти данные, полученные разными методами, можно использовать в качестве характеристики образцов. Из табл. 2 видно, что серая лесная почва и чернозем выщелоченный имеют легкосуглинистый гранулометрический состав. В этих почвах содержится большое количество песчаных фракций (1–0.05 мм), в среднем около 21–33.3% от абсолютно

Таблица 2. Гранулометрический состав серой лесной почвы и чернозема, %

Фракция агрегатов, мм	Серая лесная почва	Чернозем
1–0.25	21.4	30.30
0.25–0.05	15.1	21.50
0.05–0.01	33.0	23.92
0.01–0.005	8.3	9.64
0.005–0.001	8.8	–
<0.001	13.4	10.80
<0.01	30.5	24.38

сухой почвы. Известно [2], что песчаная фракция состоит из обломков первичных минералов и обладает высокой водопроницаемостью, не набухает, не пластична. Обладает некоторой капиллярностью и влагоемкостью. Серая лесная почва содержит значительное количество ила, но отличается от чернозема меньшим содержанием гумуса.

Подготовку проб почв к исследованию физико-химических характеристик проводили по методике, описанной в работе [19]. Она заключалась в следующем: образец почвы массой 100 г размещали на листе чистой бумаги, удаляли из почвы корни, включения и новообразования. Крупные комки почвы разламывали руками или раздробляли в фарфоровой ступке пестиком с каучуковым или резиновым наконечником до небольших комков диаметром 5–7 мм. Цель измельчения – получение более однородного образца. После измельчения лабораторной пробы ее сокращали методом квартования. Оставшуюся часть почвы порциями растирали в фарфоровой ступке пестиком с каучуковым или резиновым наконечником. Почву в ступке растирали по возможности раздавливанием. Измельченный образец просеивали через сито с отверстиями диаметром 0.25 мм.

Адсорбцию ГК на поверхности почв изучали из разбавленных водных растворов в интервале концентраций от 1×10^{-3} до 1×10^{-1} %. Концентрацию ГК в растворе определяли колориметрическим методом, твердую и жидкую части исследуемых суспензий разделяли центрифугированием. Исследуемую суспензию при изучении адсорбции готовили смешиванием навески почвы 0.2 г и 2.0 г на 100 мл воды или раствора ГК вышеуказанных концентраций. При таких навесках твердой фазы были получены 0.2 или 2%-ные почвенные суспензии соответственно. Надосадочную жидкость после центрифугирования отбирали, в ней определяли концентрацию ГК по калибровочным кривым. Адсорбцию рассчитывали по формулам:

$$\Gamma \text{ (мг/г)} = (c_0 - c_t)V 10/m$$

$$\text{или } \Gamma_1 \text{ (мг/м}^2\text{)} = (c_0 - c_t)V 10/mS,$$

где Γ и Γ_1 величины адсорбции ГК почвами (мг/г и мг/м²) соответственно; c_0 – начальная концентрация и c_t – концентрация ГК в растворе к моменту времени t (г/100 мл или %); m – навеска адсорбента (почвенные частицы) (г); V – объем растворителя (мл), S – удельная поверхность адсорбента (м²/г).

Удельную поверхность адсорбента измеряли по сорбции паров воды в вакуумно-сорбционной установке Мак-Бэна–Бакра с пружинными кварцевыми весами при $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$, а также по физической сорбции азота. Чувствительность пружин составляла 4–6 мкмоля/г сорбента. По сорбции паров воды рассчитывали емкость моно слоя и величину удельной поверхности адсорбента, используя уравнение полимолекулярной адсорбции БЭТ [4].

ζ -Потенциал для суспензий с концентрацией 50 мг образца почвы на 50 мл воды или раствора ГК определяли анализатором гранулометрического состава Zetasizer Nano ZS Malver (Англия) [46]. Определение ζ -потенциала проводили для двух параллельных образцов суспензий почва–ГК и по трем измерениям по электрофоретической подвижности частиц в дисперсионной среде (воде) с погрешностью ± 2 мВ. Статистическую обработку результатов, полученных проводили автоматически пакетом Statistica, встроенным в прибор. В табл. 1 приведены средние значения ζ -потенциала. Расчеты ζ -потенциала производили по уравнению Генри:

$$\zeta = (3\eta u)/(2Df(ka)),$$

где u – электрофоретическая подвижность, D – диэлектрическая проницаемость жидкости, η – ее вязкость, $f(ka)$ – функция Генри. D для воды = 81, $f(ka) = 1.5$ (аппроксимация Смолуховского), а $\eta = 0.01005$ при температуре 20°C и 0.00894 при температуре 25°C . Величину рН измеряли на лабораторном рН-метре ANNA рН 211 (Германия). Химическую структуру поверхности почв и компонентов серой лесной почвы (илистой фракции и суглинка), адсорбционно-модифицированных ГК, изучали ИК-спектроскопическим методом. ИК-спектры исходных почв и почв с предварительно адсорбированной ГК определяли на компьютеризированном спектрофотометре Спекорд М80 с применением КВг при соотношении образец : соль, равном 1 : 200, в интервале значений волновых чисел от 4000 до 400 см^{-1} .

Объемы осадка определяли в 10%-ных суспензиях почвы (10 г сухой почвы смешивали со 100 мл воды или ГК различной концентрации от 0.01 до 0.05%). Определение объема осадка проводили в градуированных пробирках объемом 25 см^3 с притертыми пробками. Суспензию 10 раз перемешивали сверху вниз, а затем оставляли в спокойном состоянии. Кинетику оседания осадка изучали визуально в зависимости от концентрации ГК в широком интервале времени взаимодействия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Адсорбция гуминовой кислоты

Известно, что процесс структурообразования суспензий глинистых минералов и почв в присутствии органических добавок во многом определя-

ется адсорбцией добавок на поверхности твердой фазы [25, 26]. В данной работе при изучении адсорбции ГК на серой лесной и черноземной почвах показано, что она определяется временем взаимодействия адсорбент–адсорбат, концентрацией модифицирующей добавки – ГК, а также свойствами и концентрацией твердой фазы почвы. В частности, при малом сроке взаимодействия до 48 ч и при малых концентрациях ГК в пределах 0.01–0.025% на обеих почвах (серой лесной и черноземе) установлена отрицательная адсорбция (рис. 1). При повышении концентрации ГК до 0.05% и при большем времени выдерживания суспензий ГК–почва до 120, 168 ч адсорбция становится положительной. Существуют различные объяснения явления отрицательной адсорбции. Например, отрицательную адсорбцию для адсорбентов, модифицированных полимерами с полярными растворителями на гидрофильной поверхности, авторы [15] объясняют преимущественной адсорбцией растворителя на поверхности дисперсной фазы адсорбента. Конкурирующее влияние растворителя (воды) по сравнению с макромолекулами ГК свидетельствует о необходимости предварительной гидратации гидрофильных сорбентов. Примером предварительной гидратации поверхности могут быть проведенные нами исследования по сорбции паров воды для безводных сорбентов, таких как дегидратированные алюмокалиевые квасцы, силикат и алюминат кальция, а также дегидратированный минерал алунит и др. [8]. Для них в области моно слоя была установлена только физическая сорбция паров воды, а процесс химической гидратации (лавинного связывания воды) начинался при образовании конденсированной влаги. Результаты изучения влияния предварительного смачивания поверхности глинистых минералов в процессе адсорбции органических веществ получены и другими авторами [1]. Наиболее вероятным объяснением отрицательной адсорбции ГК на частицах почвы с термодинамической точки зрения является содержание и влияние нативного органического углерода в изученных почвах. Поэтому добавление малых концентраций ГК в почвенную суспензию способствует выравниванию концентраций органического вещества, и равновесие адсорбции сдвигается влево по принципу Ле-Шателье. В соответствии с принципом Ле-Шателье, если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия, например, концентрацию органического вещества, то в системе усиливаются процессы, направленные в сторону противодействия изменениям, то есть процессу десорбции органического вещества.

Однако при изучении нами адсорбции полиакриловой кислоты (ПАК) на синтетическом отрицательно заряженном силикагеле, не содержащем органического вещества, также установлена отри-

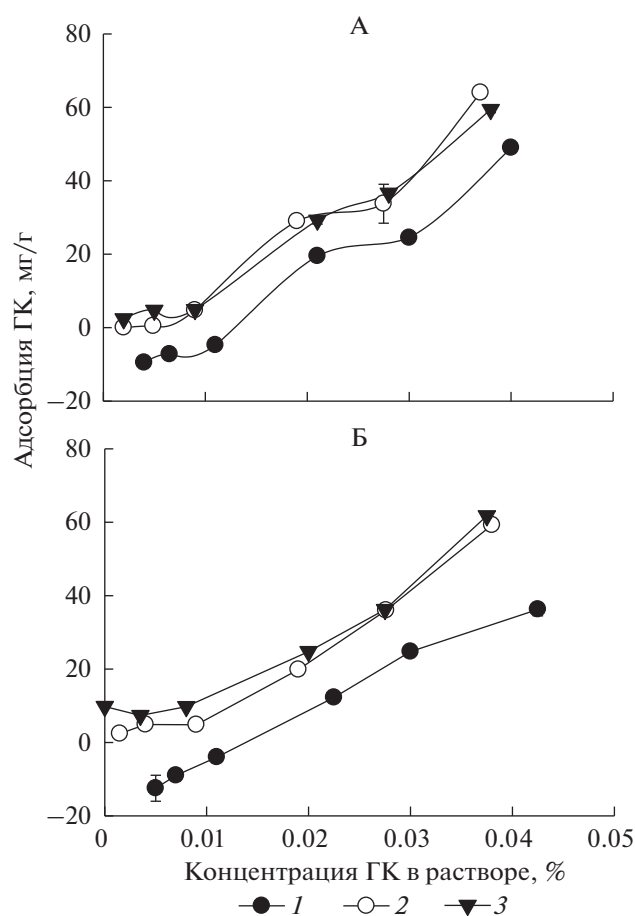


Рис. 1. Зависимости адсорбции гуминовой кислоты от ее концентрации серой лесной почвой (А) и черноземом (Б) в разные сроки выдерживания суспензии, ч: 1 – 48, 2 – 120, 3 – 168.

цательная адсорбция [21]. В этом случае Д.Л. Пинским предложено другое объяснение явления отрицательной адсорбции, а именно с точки зрения отрицательно-положительной адсорбции, когда в начальный момент времени (10–12 ч) наблюдается отрицательная адсорбция ПАК на силикагеле вследствие доминирования отталкивания одноименно заряженных молекул поверхностью силикагеля (быстрый безбарьерный процесс). Одновременно происходит более медленный процесс положительной адсорбции, требующий энергии активации. По истечении некоторого времени он начинает доминировать над отрицательной адсорбцией ПАК. В работе [21] обсуждены механизмы наблюдаемого явления и предложен метод расчета кинетических параметров для кривых с отрицательно-положительной кинетикой адсорбции полиакриловой кислоты на отрицательно заряженных силика- и алюмосиликагелях.

Кривые адсорбции при различных концентрациях ГК на серой лесной и черноземной почвах имеют вогнутый или S-образный вид, и при повышенных концентрациях ГК (0.03–0.05%) участки

кривых резко идут вверх. Это свидетельствует о том, что при увеличении концентрации раствора невозможно достигнуть насыщения поверхности, что указывает на полислойную адсорбцию. В результате для серой лесной почвы и чернозема установлены незначительные различия в количестве адсорбированной ГК как в области малых, так и больших заполнений поверхности. Однако при изучении кинетики адсорбции (рис. 2) для 0.05%-ной ГК выявлены значительные различия в величинах адсорбции на почвенных частицах и составляющих фракциях серой лесной почвы. При этом все величины адсорбции на кинетических кривых (положительные и кинетические кривые) адсорбции имеют восходящий вид и стремление к насыщению. В этом случае для серой лесной почвы и чернозема, различающихся содержанием гумуса, адсорбция ГК зависит не только от времени взаимодействия, но в значительной степени от дозы адсорбента в суспензии. Как видно из рис. 2, величины адсорбции ГК на почвах и фракциях серой лесной почвы почти на порядок больше для разбавленной 0.2%-ной суспензии по сравнению с 2%-ной. Это явление, по мнению авторов [15], можно объяснить уменьшением расстояния между дисперсными частицами адсорбента в концентрированной суспензии и возникновением определенных условий, при которых часть ранее адсорбированных макромолекул ГК способна дополнительно вступать во взаимодействие с поверхностью других частиц адсорбента, находящихся в суспензии, образуя мостики частица–макромолекула–частица. По величинам абсолютной адсорбции (мг/м²) ГК почвами и компонентами серой лесной почвы располагаются в следующий ряд: илистая фракция серой лесной почвы > чернозем > серая лесная почва > материнская порода серой лесной почвы.

Таким образом, характер адсорбции ГК на черноземе, серой лесной почве, илистой фракции серой лесной почвы и ее материнской породе определяется временем взаимодействия адсорбент–адсорбат, концентрацией раствора ГК и концентрации твердой фазы суспензий.

Изучение pH в растворе после адсорбции ГК в надосадочной жидкости после центрифугирования

Специфичность и различия в характере адсорбции ГК на серой лесной и черноземной почвах подтверждается обменными процессами, выявленными при измерении pH в растворах надосадочной жидкости после адсорбции ГК на почвах. Показано, что для самой ГК при повышении концентрации pH возрастает от 6.7 до 7.07. Для серой лесной почвы в первые сроки выдерживания системы почва–ГК (48, 120 ч) pH изменяется незначительно в пределах 6.4–6.5. При более длительном взаимодействии (168 ч) pH увеличивается до 7.5, то есть происходит подщелачивание

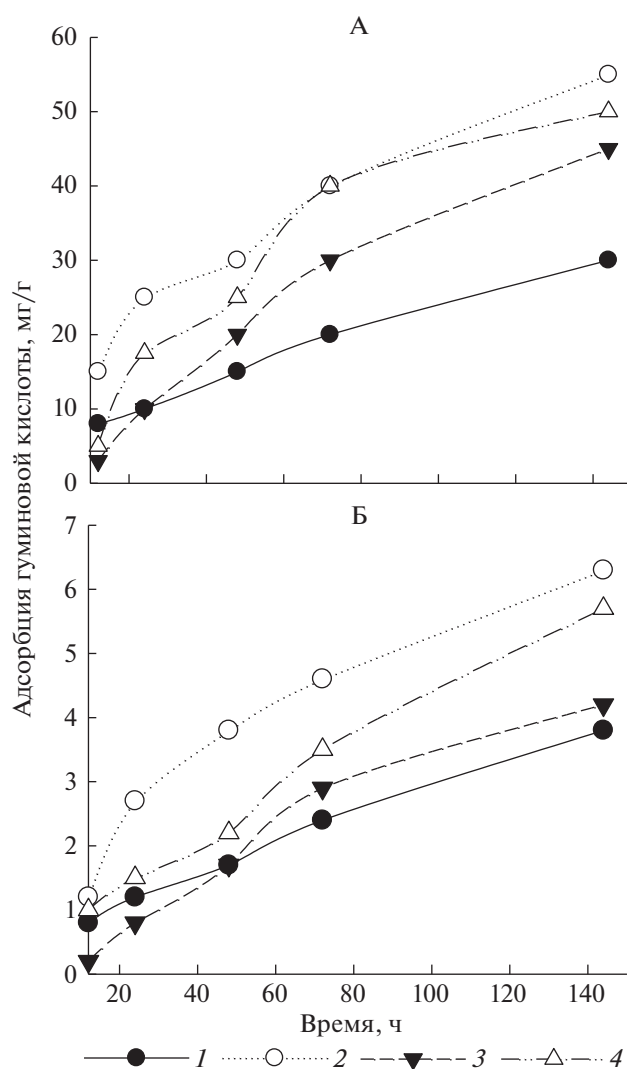


Рис. 2. Кинетика адсорбции 0.05%-ного раствора ГК почвами: 1 – серой лесной, 2, 3 – илистой фракцией и материнской породой серой лесной почвы соответственно, 4 – черноземом – при разных концентрациях суспензий, %: 0.2 (А), 2.0 (Б).

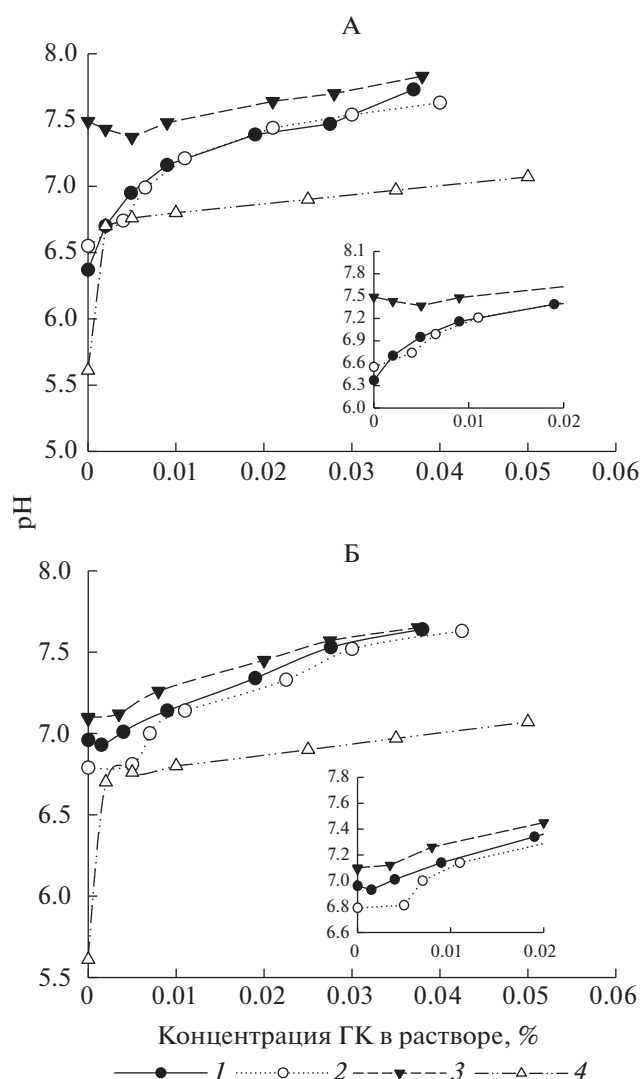


Рис. 3. Зависимость pH от концентрации адсорбционного раствора ГК серой лесной почвы (А) и чернозема (Б) в разные сроки взаимодействия, ч: 1 – 48, 2 – 120, 3 – 168, 4 – исходная ГК. На вставке – область малых концентраций.

раствора за счет самой почвы. В присутствии ГК различных концентраций в сроки от 48 до 120 ч выдерживания суспензии pH увеличивается от 6.5 до 7.7, а при 168 – от 7.5 до 7.8. Казалось бы, что присутствие ГК должно уменьшить pH раствора, однако его значения увеличиваются.

Для чернозема изменение pH в меньшей степени зависит от времени взаимодействия ГК–почва и сильнее от концентрации ГК. Так, в присутствии ГК для чернозема, независимо от времени, pH увеличивается от 6.7–7.2 (контроль) до 7.75. В этом случае так же, как для серой лесной почвы, присутствие ГК не снижает, а повышает pH. Эти данные указывают на то, что в почвенных растворах с ГК может происходить обменная адсорбция с выделением щелочных компонентов, в результате чего рас-

твор приобретает основной характер. Следовательно, адсорбция гумата натрия может сопровождаться ионным обменом, так как сопровождается изменением pH раствора и является pH-зависимым.

В работах [11, 33, 36, 38] на примере изучения адсорбции ГК и полиакриламида на глинистых минералах установлено увеличение адсорбции в кислой области, то есть с возрастанием ионной силы раствора. Это, по-видимому, обусловлено тем, что при низких pH высокая концентрация протонов нейтрализует отрицательный заряд поверхности этих материалов, что позволяет макромолекулам полиэлектролитов и частицам минерала приближаться друг к другу, следовательно, увеличивать силы притяжения между ними. Другие авторы считают [34, 42, 45], что связывание

ГК каолинитом, происходит как за счет неспецифической, а также и специфической адсорбции между положительно заряженными центрами каолинита и карбоксильными группами ГК, а также за счет гидрофобного связывания.

Можно предположить, что в результате специфической адсорбции гумата натрия на почвенных частицах, сопровождающегося ионным обменом, возможно образование и локализация новых поверхностных минералоорганических соединений на определенных заряженных участках поверхности, что подтверждается при измерении рН.

ИК-спектроскопические исследования адсорбционно-модифицированных ГК образцов почв и фракций серой лесной почвы

Для подтверждения характера взаимодействия ГК с почвами изучены ИК-спектры исходных почв и образцов, адсорбционно-модифицированных ГК (рис. 4А и 4Б). Выявлено, что ИК-спектры серой лесной и черноземной почв различаются способностью к межмолекулярным взаимодействиям по водородным и амидным связям, степени ионизации или замещения водорода карбоксильных групп на солевые, а также составом алифатических и ароматических группировок. Влияние адсорбированной ГК для всех образцов проявляется, прежде всего, в интенсивности спектра поглощения как в высокочастотной, так и низкочастотной областях. Например, у исходной серой лесной почвы интенсивность спектра поглощения в высокочастотной области составляет 54%, с ГК – 61%, у исходного чернозема – 40%, с ГК – 60%. Широкая сложная полоса поглощения в области 3600–2200 см⁻¹, состоящая из полос поглощения валентных колебаний свободной гидроксильной группы (3600 см⁻¹), уменьшается, а для гидроксильных групп, связанных межмолекулярными водородными связями 3448–3192 см⁻¹, увеличивается. Это свидетельствует об образовании водородных связей между ГК и частицами почвы. Кроме того, у модифицированных образцов почв появляются новые полосы поглощения 1752 и 1616 см⁻¹, принадлежащие карбоксилатной группе. Это указывает на различную степень замещения водорода в карбоксильных группах ГК. В средне- и низкочастотной областях можно отметить небольшой сдвиг полос поглощения хорошо проявляющихся групп 1528 см⁻¹ (1540 см⁻¹), относящихся к группе амид II и гидроксильной группе =C–O– (1230–1250 см⁻¹). Более четко выделяются полосы деформационных колебаний ОН первичных и вторичных спиртов при 1150–1050 см⁻¹ адсорбционно модифицированных ГК образцов почв.

ИК-спектры для минеральных составляющих серой лесной почвы: илистой фракции и материнской породы адсорбционно-модифициро-

ванных ГК (рис. 4В и 4Г) – также отличаются от исходных образцов. В частности, для илистой фракции серой лесной почвы выявлено усиление интенсивности полос поглощения по водородным связям в присутствии адсорбированной ГК. В то же время у материнской породы серой лесной почвы все линии имеют низкую интенсивностью как в высокочастотной, так и в среднечастотной областях спектра. При этом можно отметить появление новой полосы поглощения при 1705 см⁻¹, свидетельствующей о наличии карбоксильной группы. Следовательно, изменения, выявленные в различных интервалах ИК-спектра адсорбционно модифицированных образцов почв и фракций серой лесной почвы, подтверждают различный механизм адсорбции ГК от физической адсорбции до хемосорбции с образованием поверхностных минералоорганических соединений за счет полярных групп ГК и полярных групп почвенных агрегатов.

Влияние адсорбции ГК на устойчивость почвенных суспензий

Известно, что процесс структурообразования природных минералов, модифицированных органическими молекулами, в частности, полиэлектролитами, регулируется образованием гидратных и полимерных слоев на поверхности частиц, а также в охватывании этих частиц длинными цепными макромолекулами, приводящими к коагуляции или пептизации адсорбционно-модифицированных частиц [9–13].

При изучении влияния присутствия в суспензии ГК на кинетику изменения величин объемов осадка серой лесной почвы и чернозема выявлено изменение их коагуляционной устойчивости (рис. 5). Так, для серой лесной почвы установлено (рис. 5А), что в начальный момент (5–10 мин), объем осадка в зависимости от концентрации ГК, образует увеличивающийся ряд вода–ГК, % <0.01, <0.02 <0.03 <0.05, что соответствует увеличению степени покрытия поверхности почвы. По-видимому, адсорбция ГК снижает агрегативную устойчивость суспензии, она коагулирует быстрее, агрегаты частиц становятся рыхлыми, образуются гелеобразные хлопья. За 12 ч отмечается снижение объемов осадка и сближение их при всех концентрациях ГК. В последующие сроки объемы осадка увеличиваются с повышением концентрации ГК. Их величины к 40–50 ч принимают максимальные значения, кривые проходят через максимум, за исключением системы вода–почва, когда объемы осадка снижаются непрерывно во времени. При дальнейшем увеличении времени взаимодействия и концентрации ГК объемы осадка уменьшаются до одной величины – до 14 мл. Этот эффект обусловлен, по-видимому, наступающей стабилизацией суспензии благодаря образованию адсорбционного слоя, обратно

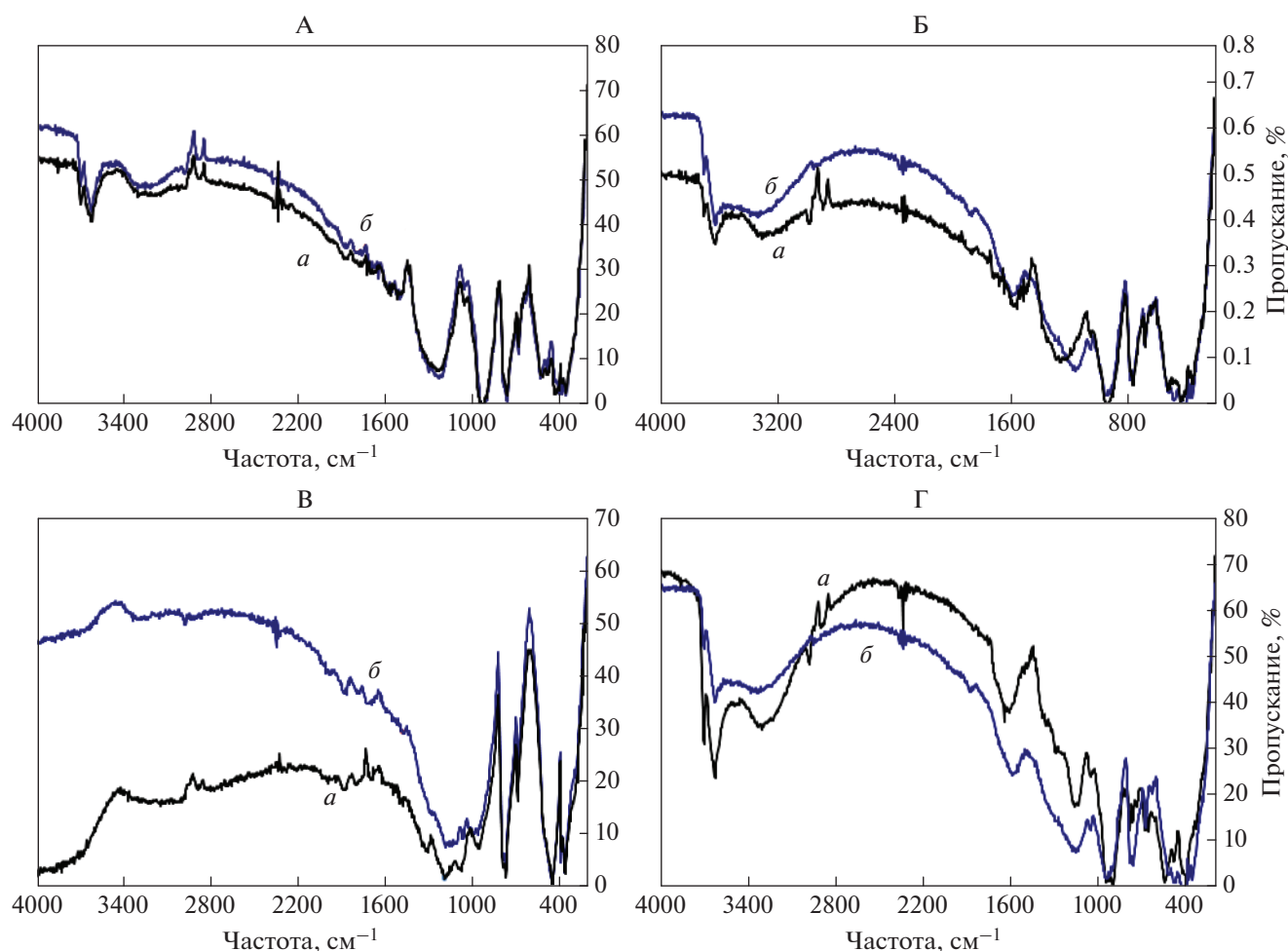


Рис. 4. ИК-спектры серой лесной почвы (А), чернозема (Б), материнской породы серой лесной почвы (В), илистой фракции серой лесной почвы (Г), исходных (а) и модифицированных 0.05%-ной гуминовой кислотой (б).

ориентированного полярными группами в водную среду, то есть система гидрофилизуется. Для черноземной почвы (рис. 5Б) все эффекты снижения объема осадка к 12 ч менее выражены. По уменьшению объемов осадка в течение 12–24 ч они мало отличаются друг от друга в зависимости от концентрации ГК. В последующие сроки от 24 до 60 ч объемы осадка черноземной почвы постепенно снижаются от 22 до 17.

Изменение структуры осадков почвенных суспензий в присутствии ГК различной концентрации при выдерживании в течение длительного времени

Как показано выше, изменение объемов осадка суспензий серой лесной и черноземной почв зависит от количества адсорбированной ГК и времени взаимодействия. При выдерживании почвенных суспензий с разными дозами ГК в течение длительного времени в значительной степени различаются процессы сегрегации частиц с разделением осадка на зоны. Сначала происходило быстрое оседание грубодисперсных частиц на дно, затем образова-

ние хлопьев, которые оседали в разной степени в виде стабильного геля, и наконец, последующего осветления суспензии в зависимости от времени, концентрации ГК и типа почвы (рис. 6). Для суспензий серой лесной почвы с водой в начальный срок (до 12 ч) отмечалось оседание плотного осадка объемом 2.5 мл и образование геля по всему остальному объему. Возможно, что образование геля в виде коллоидной фракции происходит за счет присутствия гумата натрия, приводящего к пептизации почвенных частиц суспензии. В последующие сроки от 25 до 50 ч нижний осадок уплотнялся, и в верхней части появлялся прозрачный раствор. Далее процесс разделения суспензии на зоны продолжался, и к 150–200 ч осадок геля исчезал, а раствор над плотным осадком становился прозрачным.

Для чернозема, содержащего примерно в 2 раза больше гумуса по сравнению с серой лесной почвой, установлены отличия в формировании осадка как с водой, так и с ГК. Например, в системе вода–почва плотная часть осадка занимала больший объем (до 4 мл) и имела более рыхлую

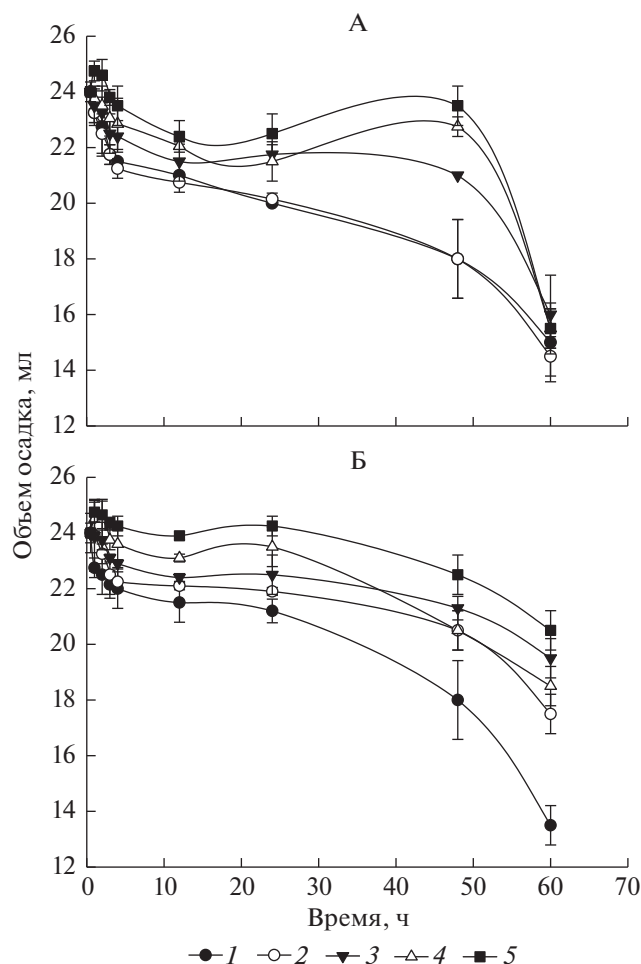


Рис. 5. Объемы осадка серой лесной почвы (А) и чернозема (Б) при разных концентрациях гуминовой кислоты, %: 1 – вода; 2 – 0.01; 3 – 0.02; 4 – 0.03; 5 – 0.05.

структуру, по-видимому, за счет большего содержания в черноземе нативного органического вещества. В этом случае постепенно исчезал образующийся осадок геля с более ранним появлением прозрачного раствора. Однако в присутствии адсорбированной на черноземе ГК образование и стабильность гелеобразного осадка повышались с увеличением концентрации ГК в суспензии вплоть до длительных сроков 150–200 ч. Из этих данных можно сделать вывод, что гумус – матричный состав чернозема способствует стабилизации гелеобразного осадка даже в длительные сроки. Следовательно, формирование структуры осадка серой лесной почвы и чернозема резко отличается друг от друга и зависит как от срока выдерживания суспензии, так и от количества органического вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена адсорбция ГК (из разбавленных водных растворов агрегатами почв на примере серой лесной

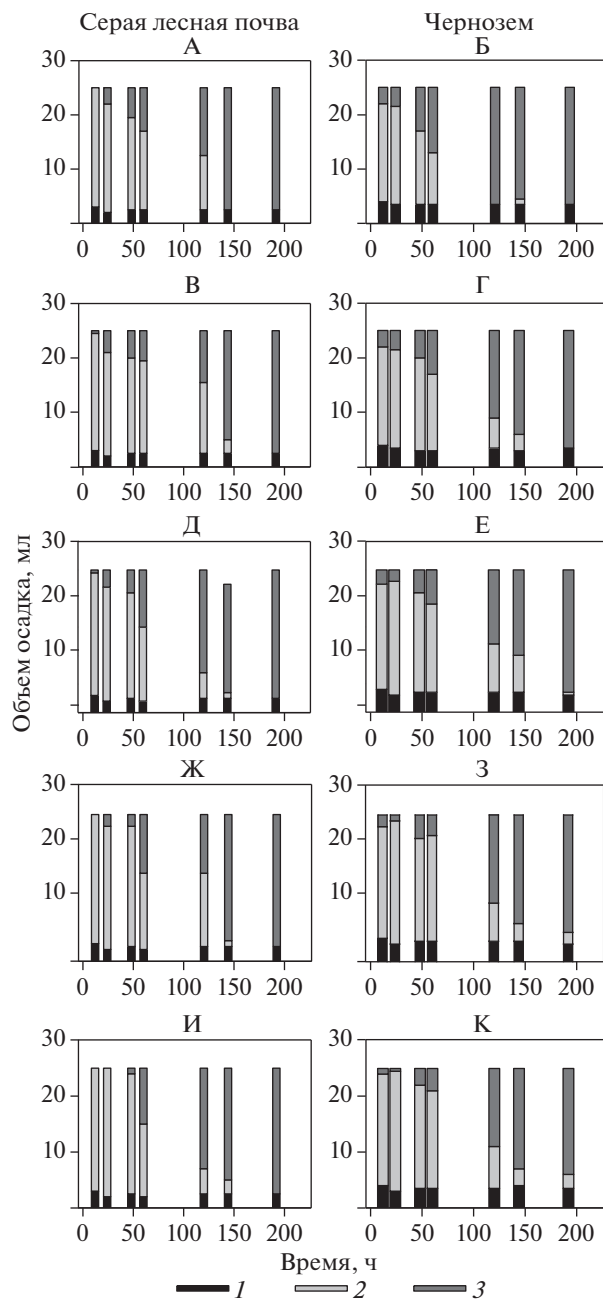


Рис. 6. Объемы осадка серой лесной почвы и чернозема при длительном выдерживании суспензий с водой (А, Б) и при различных концентрациях гуминовой кислоты, %: 0.01 (В, Г), 0.02 (Д, Е), 0.03 (Ж, З), 0.05 (И, К); 1 – плотный осадок, 2 – гелеобразный осадок, 3 – прозрачный раствор.

почвы и ее составляющих (илистой фракции и почвообразующей породы) и выщелоченного чернозема. Физико-химическими методами исследования показано, что адсорбция на всех объектах определяется временем взаимодействия, концентрацией ГК, а также свойствами и концентрацией твердой фазы почвы и может сопровождаться ионным обменом. По изменению объемов осадка установлено влия-

ние адсорбции ГК на коагуляционную устойчивость почвенных суспензий, которая сопровождается выделением гелеобразного осадка и увеличением времени осветления суспензии. В результате показано, что устойчивость суспензий возрастает с повышением концентрации ГК и зависит от типа почвы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена по Госзаданию № АААА-А18-118013190180-9, тема: Физико-химические и геобиохимические процессы в антропогенно-измененных почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Т.В., Золотарева Б.Н. Фракционирование гуминовых кислот в ходе адсорбции на монтмориллоните и палыгорските // Почвоведение. 2013. № 6. С. 658–671. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060014>
2. Алифанов В.М. Палеокрионез и современное почвообразование. Пушино, 1995. 318 с.
3. Артемьева З.С., Кириллова Н.П. Пулы органического вещества почвы: состав, роль в процессах почвообразования, экологические функции // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 73–95. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-73-95>
4. Брунауэр С.А. Адсорбция газов и паров. Изд-во иностр. лит., 1949. 503 с
5. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: Русаки, 2001. 295 с.
6. Качинский Н.А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. 324 с.
7. Курочкина Г.Н. Исследование влияния минерального субстрата на процесс гумификации растений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3(3). С. 993–997.
8. Курочкина Г.Н. Формирование гидратных пленок на поверхности силиката и алюмината кальция в присутствии полиэлектролитов // Почвоведение. 2017. № 8. С. 954–964. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1708007X>
9. Курочкина Г.Н. Влияние преадсорбированных полиэлектролитов на поверхностные свойства и дисперсность глинистых минералов и почв // Журн. физикохимии поверхности и защита материалов. 2019. Т. 55. № 2. С. 158–169. <https://doi.org/10.1134/S0044185619020141>
10. Курочкина Г.Н., Пинский Д.Л. Наноморфология поверхности монтмориллонита, модифицированного полиакриловой кислотой // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2016. Т. 52. № 3. С. 1–6. <https://doi.org/10.1134/S0044185619020141>
11. Курочкина Г.Н., Пинский Д.Л., Хайнос М., Соколовска С., Цесла И., Гжегош Бованко. Влияние наноадсорбционных слоев полиэлектролитов на структурно-сорбционные свойства минералов и почв // Агрохимия. 2013. № 10. С. 58–66.
12. Курочкина Г.Н., Пинский Д.Л., Хайнос М., Соколовска С., Цесла И. Электрокинетические свойства почвенных минералов и почв, модифицированных полиэлектролитами // Почвоведение. 2014. № 7. С. 842–850.
13. Курочкина Г.Н., Пинский Д.Л., Федотов Г.Н., Хайнос М., Соколовска Цесла И. Изменение структурной организации осадков глинистых минералов и почв под воздействием полиэлектролитов // Почвоведение. 2013. № 8. С. 993–1004. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13080054>
14. Ладонин Д.В., Марголина С.Е. Взаимодействие гуминовых кислот с тяжелыми металлами // Почвоведение. 1997. № 7. С. 806–811.
15. Липатов Ю.С. Коллоидная химия полимеров. Киев: Наукова думка, 1984. 343 с.
16. Литтл Л. Инфракрасные спектры адсорбированных молекул. М.: Мир, 1969. 514 с.
17. Лодыгин Е.Д. Сорбция ионов Cu^{2+} и Zn^{2+} гуминовыми кислотами тундровой торфяно-глеевой почвы // Почвоведение. 2019. № 7. С. 817–826. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070098>
18. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 375 с.
19. Орлов Д.С., Горшкова Е.И., Салпагарова И.А. Практикум и семинары по химии почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 42 с.
20. Пампура Т.В. Поглощение меди и цинка черноземом типичным в условиях модельных экспериментов. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пушино, 1996. 20 с.
21. Пинский Д.Л., Курочкина Г.Н. Особенности адсорбции полиакриловой кислоты синтетическими алюмосиликатами // Журн. физической химии. 2005. Т. 79. № 1. С. 1853–1860.
22. Пинский Д.Л., Курочкина Г.Н. Эволюция учений о физико-химической поглотительной способности почв. Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. М.: Наука, 2006. С. 295–311.
23. Ребиндер П.А., Фукс Г.И. Проблемы современной коллоидной химии // Успехи коллоидной химии. М.: Наука, 1973. С. 5–8.
24. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на водоудерживающую способность легких почв // Почвоведение. 1994. № 11. С. 50–55.
25. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен. Тула: Гриф и К, 2009. 172 с.
26. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка, 1975. 351 с.
27. Федотов Г.Н., Шалаев В.С. Основы наноструктурной организации почв. М., 2012. 512 с.
28. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Путляев В.И., Гаршев А.В., Иванов В.К., Пахомов Е.И. Гелевые структуры в почвах // Почвоведение. 2006. № 7. С. 824–835.
29. Федотов Г.Н., Поздняков А.И., Жуков Д.В., Пахомов Е.И. Органо-минеральные гели в почвах: экспериментальные факты и гипотезы // Почвоведение. 2004. № 6. С. 691–696.
30. Якименко О.С., Терехова В.А., Пукальчик М.А., Горленко М.В., Попов А.И. Сравнение двух интегральных биотических индексов при оценке эффектов гуминовых препаратов в модельном эксперименте // Почвоведение. 2019. № 7. С. 781–792. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070153>
31. Alekseev A., Alekseeva T., Kalinin P., Hajnos M. Soils response to the land use and soil climatic gradients at ecosystem scale: Mineralogical and geochemical data // Soil Tillage Res. 2018. V. 180. P. 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.008>
32. Artemyeva Z., Zigova A., Kirillova N., Štátný M., Holubík O., Podrázský V. Evaluation of aggregate stability of Haplic Stagnosols using dynamic light scattering, phase

- analysis light scattering and color coordinates // Archives of Agronomy and Soil Science. 2017. V. 63. P. 1–14.
33. Balcke G.U., Kulikova N.A., Hesse S., Kopinke F.D., Perminova I.V., Frimmel F.H. Adsorption of humic substances onto kaolin clay related to their structural features // Soil Sci. Soc. Am. J. V. 66. 2002. P. 1805–1812.
 34. Balnois E., Wilkinson K.J., Lead J.R., Buffle J. Atomic Force Microscopy of Humic Substances: Effects of pH and Ionic Strength // Environ. Sci. Technol. V. 33. 1999. P. 3911–3917.
 35. Chenu C., Plante A.F. Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence: Revisiting the concept of the “organo-mineral complex” // Eur. J. Soil Sci. 2006. V. 57. P. 596–607.
 36. Chotzen Rebecca A., Polubesova Tamara, Chefetz Benny, Mishael G.Y. Adsorption of Soil-Derived Humic Acid by seven Clay Minerals: A Systematic study // Clay Minerals. 2016. V. 64. P. 628–638.
 37. Costanzo P.M., Guggenheim S. Editors Guest // J. Clay Minerals Soc. 2001. V. 4. P. 413.
 38. Deng Youjun, Dixon Joe B., White Norman G. Adsorption of Polyacrylamide on Smectite, Illite, and Kaolinite // Soil Sci. Soc. Am. J. 2006. V. 70. P. 297–304.
 39. Murphy E.M., Zachara J.M., Smith S.C., Phillips J.L., Wietsma T.W. Interaction of hydrophobic organic compounds with mineral-bound humic substances // Environ. Sci. Technol. 1994. V. 28. P. 1291–1299.
 40. Rashid M.A., Buckley D.E., Robertson K.R. Interactions of a marine humic acid with clay minerals and a natural sediment // Geoderma. 1972. V. 8. P. 11–27.
 41. Rebecca A., Tamara Polubesova, Benny Chefetz, Yael G. Michael. Adsorption of soil – derived humic acid by seven clay minerals a systematic study // Clay and Clay Minerals. 2016. V. 64. № 5. P. 628–638.
 42. Sokolowska Z., Sokolowski S. Influence of humic acid on surface fractal dimension of kaolin: analysis of mercury porosimetry and water vapour adsorption data // Geoderma. 1999. V. 88. P. 233–249.
 43. Sokolowska Z., Hajnos M., Borowko M., Sokolowski S. Adsorption of nitrogen on thermally treated peat soils: the role of energetic and geometric heterogeneity // J. Colloid Interface Sci. 1999. V. 219. P. 1–10.
 44. Sokolowska Z. The fractal dimension of geometrically irregular solid surfaces: the role of attractive molecule-surface interactions // J. Am. Soc. 1989. V. 5. P. 928–941.
 45. Zbik M., Smart R.St.C. Nanomorphology of kaolinites: comparative SEM and AFM studies // Clays and Clay Minerals. 1998. V. 46. № 2. P. 153–160.
 46. Zetasizer Nano Series. (User Manual). Nano 317. Iss. 1.1. Feb. 2004. P. 2–5.

Influence of Humic Acid Adsorption on Coagulation Stability of Soil Suspensions

G. N. Kurochkina*

Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia

**e-mail: colloid41@rambler.ru*

Humic Acids adsorption has been studied and its effect on the coagulation stability of soil suspensions. Gray forest soil (Greyzemic Phaeozem (Loamic)) and its components (clay fraction and parent rock) and of chernozem (Chernozem (Pachic)) were study objects to investigate the adsorption of humic acid (drug company Aldrich-Chemie) from diluted aqueous solutions. Physicochemical methods of research show that adsorption is determined by the interaction time, the concentration of humic acid, as well as by the properties and concentration of the solid phase, and may be accompanied by cation or anion exchange. Changes in precipitate volume permitted to assess the coagulation stability of soil suspensions, which is accompanied by the release of gel-like precipitate and increasing time for the suspension brightening. As conclusion, it is shown that the stability of suspensions increases with an increase in the concentration of humic acid and depends on the type of soil.

Keywords: clay mineral, gray forest soil (Greyzemic Phaeozem (Loamic)), chernozem (Chernozem (Pachic)) humic acid, adsorption, coagulation, stabilization