

УДК 631.4

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И СТРУКТУРА ПОЧВЫ:
УЧЕНИЕ В.Р ВИЛЬЯМСА И СОВРЕМЕННОСТЬ

Е.В. ПИЩИК Е.Ю. МИЛАНОВСКИЙ

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

Гипотеза В.Р. Вильямса о роли «свежего» органического вещества в процессах агрегации подтверждается физико-химическими моделями формирования агрегатной структуры черноземов, где роль веществ, сорбирующихся на твердой минеральной поверхности, выполняют гидрофильные компоненты, а соединение между минеральными частицами с сорбированными гидрофильными компонентами осуществляется гидрофобными компонентами гумусовых веществ. Предложена концептуальная модель водоустойчивости почвенных агрегатов, связанная с соотношением гидрофильных и гидрофобных компонентов и их пространственной локализацией. Совместное действие гумусовых веществ, гидрофоб и зирующих поверхность минеральной матрицы и обособленных в микрзоны неполярных молекул, стохастически распределенных в объеме агрегата, обуславливает его водоустойчивые свойства.

Ключевые слова: структура почв, почвенные агрегаты, гумусовые вещества, гидрофильные и гидрофобные компоненты.

Феномен агрегатной структуры почвы всегда занимал и продолжает занимать одно из основных мест в поисковых исследованиях почвоведов. Происхождение, формирование, устойчивость агрегатов и, напротив, процессы потери агрегатной структуры, ее деградации — это процессы, непосредственно затрагивающие сложные фундаментальные физико-химические и биологические процессы в почвах и в то же время актуально практические. Однако общепризнанной и всеобъемлющей теории формирования агрегата и тем более управления структурообразованием до настоящего времени не существует. Имеется ряд гипотез образования агрегатов, в формировании которых большую роль сыграли работы по структурообразованию В.Р. Вильямса.

Уникальное природное образование, придающее почве специфическую форму структурной иерархической организации и лежащее в основе всех почвенных функций, — почвенный агрегат — имеет пространственную организацию, где главную роль «клеящих веществ» осуществляют гумусовые вещества (ГВ), ил и такие структурообразующие катионы, как Са, Al, Fe [1, 8, 9, 12 и др.] и др. Минеральный каркас в большинстве случаев представлен элементарными минеральными частицами (зерна кварца, полевых шпатов и пр.). Так и сформирован почвенный агрегат: первичные минеральные частицы соединены друг с другом «клеящими веществами» различной природы. Этому находится подтверждение в огромном количестве мезо- и микроморфологических наблюдений, данных по гранулометрическому и минералогическому анализу почвы в целом и ее микроагрегатных фракций. Это строение агрегатов можно считать неоспоримым фундаментальным фактом почвоведения [9, 12].

Базируясь на морфологическом строении почвенного агрегата, появлялись гипотезы формирования почвенной структуры. Среди этих гипотез весьма условно можно выделить три основные или наиболее распространенные. Первоначально основной была коагуляционная теория структурообразования, основоположником которой можно считать К.К. Гедройца, впоследствии развитая И.Н. Антиповым-Каратаевым с коллегами [2, 10]. Можно считать, что эта гипотеза позволила разработать новые схемы анализа почвенных агрегатов, классифицировать и выделить их характерные типы.

Самым существенным вкладом в теорию структурообразования была теория В.Р. Вильямса [6], который сделал акцент на роли биологического фактора. Он подчеркивал значение, во-первых, корневых систем растений как макрофактора образования зернистой структуры. А также роль так называемого «свежего» органического вещества, которое образуется в анаэробных (!) условиях и является продуктом метаболизма жизнедеятельности анаэробных бактерий. По предположению В.Р. Вильямса, зоны анаэробноаэробии локализуются внутри почвенных агрегатов, а на их поверхности идут аэробные процессы. Эта гениальная догадка В.Р. Вильямса была впоследствии экспериментально подтверждена [7, 11, 25], и доказано, что при влажности более 70% от НВ окислительно-восстановительный потенциал внутри агрегата ниже на 100-200 mV по сравнению с поверхностью. Более того, почвенные микробиологи экспериментально установили наличие внутри почвенных агрегатов факультативно-анаэробных бактерий [23] и образующие локальные зоны анаэробного микроценоза [26]. Перечисленные факты косвенно указывают на то, что генезис устойчивых почвенных агрегатов может быть связан со специфическими свойствами органического вещества, формирующегося в условиях недостатка воздуха и при участии специфической микробиоты.

Однако до настоящего времени вопрос о физико-химических свойствах, происхождении и механизмах структурообразования с участием «свежего» органического вещества (по В.Р. Вильямсу) так и остается до конца не изученным.

Проведенные к настоящему времени исследования гумусовых веществ (ГВ) позволяют их рассматривать как многокомпонентную систему. Стратегия изучения таких объектов заключается в упрощении путем разделения на компоненты и их самостоятельном исследовании. Такой подход предполагает рассмотрение исходной многокомпонентной системы как смеси некоторого количества дискретных состояний, число которых определяется и лимитируется достаточностью для описания имеющихся на данный момент экспериментальных данных. Основной и принципиальной проблемой при этом является выбор критерия, по которому осуществлять разделение. Примерно с середины прошлого века и до наших дней разделение системы ГВ основано на критерии их растворимости в кислоте и щелочи. Хотя данное свойство никогда не реализуется в реальной природной обстановке, показатель растворимости принят в почвоведении как генетическая характеристика гумуса и почв разного генезиса. При широком использовании кислотно-щелочного разделения ГВ на составляющие эта характеристика не позволяет выявить механизмы формирования гумусового профиля почвы, объяснить причины различий составляющих ГВ в почвах разного генезиса.

Действительно, большинство, если не все процессы почвообразования, протекают при участии воды. Характер взаимодействия вещества с водой зависит от выраженности его гидрофильных или гидрофобных свойств. Органические вещества, из которых в результате гумификации тем или иным путем образуются ГВ,

имеют исключительно биологическое происхождение. Большинство биологических макромолекул являются амфифильными соединениями, т.е. способными проявлять как гидрофильные, так и гидрофобные свойства [13, 33]. Амфифильность обусловлена наличием в их составе как гидрофильных (полярных) групп, так и гидрофобных (неполярных) зон. Соотношение гидрофильных и гидрофобных участков в молекуле обуславливает ее растворимость, пространственную организацию и разнообразие функциональных свойств. По всей видимости, чем сильнее у ГВ будут выражены гидрофильные свойства, тем более эти вещества будут подвижны в профиле почвы, в большей мере они будут выступать агентами кислотного гидролиза минералов, элювироваться, тем активнее они будут взаимодействовать из водной фазы с поверхностью твердой фазы. Гидрофобные ГВ будут же, напротив, закрепляться на месте образования, формируя аккумулятивные характеристики профиля. По-видимому, в этом состоит значение и роль свойства амфифильности в формировании гумусового (аккумулятивного, элювиального, элювиально-иллювиального) профиля почв.

Поскольку минеральные компоненты почвы гидрофильны, за формирование более гидрофобных поверхностей в почве ответственно органическое вещество. От степени гидрофобности поверхности органоминеральных частиц будет зависеть их способность к взаимодействию друг с другом за счет гидрофобного связывания и образование водопрочных агрегатов, либо подверженность к пептизации, за счет образования водородных связей. В данной работе мы придерживаемся предположения, что гидрофобные ГВ обуславливают образование структурных связей и ответственны за формирование и устойчивость (водоустойчивость) почвенной структуры. Образование агрегатов за счет гидрофобного взаимодействия между элементарными почвенными частицами, покрытыми ГВ, связано с формированием энергетически наиболее выгодной, в водном окружении, поверхности образующегося агрегата. Существующие между молекулами воды мощные взаимодействия нарушаются при «растворении» вещества в воде. В случае ионогенных (гидрофильных) соединений эти нарушения компенсируются заменой взаимодействия вода — вода на взаимодействия ион — вода. При «растворении» неполярных (гидрофобных) веществ такой компенсации нет и растворения веществ в воде не происходит. Энергетически более выгодна при этом ассоциация гидрофобных частиц друг с другом, при которой взаимодействия между молекулами воды нарушаются в наименьшей степени [19]. В общем виде гидрофобное связывание можно определить как взаимодействие между частицами, которое является более сильным, чем взаимодействие этих частиц с водой, и которое не может быть обусловлено ковалентной или водородной связью, электростатическим притяжением или переносом заряда. Исходя из этого, именно выраженность свойства гидрофобности ГВ будет определять водоустойчивость (и, по-видимому, устойчивость вообще к внешним воздействиям) почвенной структуры.

Считается, что основную роль поставщика органического вещества (ОВ) почв, в частности при возделывании трав, играет корневой отпад. ОВ корневого отпада, поступающего в почву *in situ*, в дальнейшем преобразуется почвенной биотой, проходя стадию биотрансформации при недостатке кислорода, за счет чего образуются в основном гуминовые кислоты и, в меньшей мере, фульвокислоты, а в современном понимании свойств этих новообразованных почвенных органических веществ — амфифильные вещества, содержащие гидрофобные и гидрофильные компоненты [2, 11, 19 и др.]. Все это указывало на то, что формирование устойчивых

агрегатов почвы связано с особыми свойствами ОВ, вырабатываемого специфической биотой в условиях недостатка воздуха. К настоящему времени эти гипотезы дополнены данными о значении гифов грибов в первичном (сначала механическом, а затем и биохимическом) формировании агрегатов, данными о роли гидрофобизации в создании устойчивости структуры, прежде всего за счет увеличения длительности увлажнения, снижения «разрывного» действия заземленного воздуха [18, 35, 36], о значении анаэробных процессов в образовании водоустойчивых агрегатов. С приобретением в анаэробных условиях компонентами ОВП гидрофобных свойств связывают агрегатообразующую функцию ОВ за счет установления связей гидрофобного взаимодействия [29, 30 и др.]. Однако данных об участии гидрофильных и гидрофобных компонентов в формировании почвенной агрегатной структуры, а также изменении этих компонентов при ее деградации, практически нет.

Цель данной работы — обосновать значение амфифильных свойств почвенного органического вещества в формировании и деградации водоустойчивой почвенной структуры.

Задачи:

1) значение гидрофильных и гидрофобных компонентов почвенного органического вещества при формировании почвенной структуры;

2) обоснование механизма формирования структуры с участием гидрофильных и гидрофобных компонентов;

3) выявить предпочтительные механизмы потери агрегатных свойств почв (на примере типичных черноземов) при антропогенном воздействии.

Объекты и методы

Объектом исследования послужил типичный чернозем с территории Центрально-Черноземного государственного биосферного заповедника им. проф. В.В. Алехина под целинной разнотравно-луговой степи и пашни, находящейся с 1947 г. в состоянии бессменного пара. Эти объекты подробно описаны в работах [4, 16].

Гумусовые вещества выделялись из минеральных генетических горизонтов почв раствором $0,1 \text{ M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 0,1 \text{ N NaOH}$ при соотношении почва : раствор 1 : 10. Для органогенных горизонтов использовалось соотношение 1 : 40. Экстракт ГВ очищали от минеральных примесей центрифугированием (8000 об./мин 15 мин) и фильтрацией через мембранный фильтр с порами 0,45 мкм. Хроматография гидрофобного взаимодействия проводилась на Octil-Sepharose CL-4B (Pharmacia). Фракционированию подвергались как препараты гумусовых кислот, растворенные (5 мг/мл) в 0,05 М ТРИС-НС1 буфере рН = 8,0, так и ГВ, непосредственно экстрагированные из почв. Объем пробы 0,5 мл, скорость фильтрации 1 мл/мин, детектирование элюата при 280 нм, колонка 1 x 10 см.

В результате хроматографического разделения на хроматограммах четко выделялись пять фракций, различающихся по гидрофильно-гидрофобному взаимодействию (рис. 1): фракции 1-3, которые наименее взаимодействовали с гидрофобным взаимодействием и относились к гидрофильным, а фракции 4-5 — к гидрофобным.

Результаты и их обсуждение

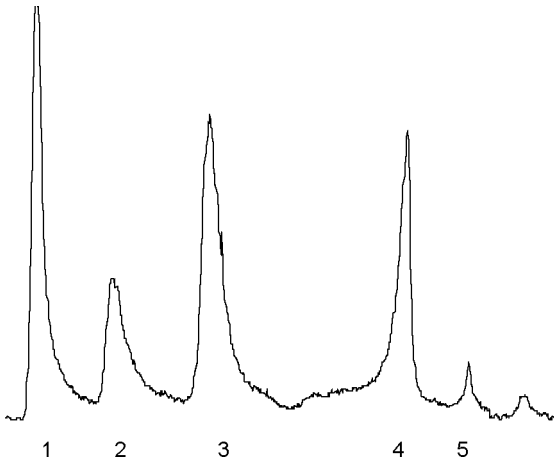


Рис. 1. Хроматограммы ГВ чернозема типичного: 1-3 — хроматографические пики, свойственные гидрофильным компонентам ГВ; 4-5 — гидрофобным компонентам ГВ

крупнопесчаных фракций. Существенные изменения в структуре черноземов при их распашке, прежде всего связанные со снижением ее водоустойчивости, являются характерным следствием процессов антропогенной деградации черноземов [3, 5, 25] (рис. 2, 3).

Хотя водоустойчивость агрегатной структуры черноземов связывается с гуминовыми кислотами, определение состава гумуса в целинных и пахотных чернозе-

Длительное нахождение (с 1947 г.) типичного чернозема в состоянии чистого пара привело к снижению содержания гумуса (рис. 2), формированию плужной подошвы и значительному уплотнению верхнего слоя. При существенном снижении содержания общего углерода в пределах Апах в нижних горизонтах профиля типичного чернозема под чистым паром содержание углерода увеличилось (рис. 3). Высокая фильтрационная способность верхних горизонтов целинных черноземов снижается на пашне до 1,3-0,3 мм/мин. Агрегаты >2 мм утрачивают свойство водоустойчивости, а по данным микроагрегатного анализа происходит увеличение фракции физической глины и ила при значительном уменьшении содержания средне- и

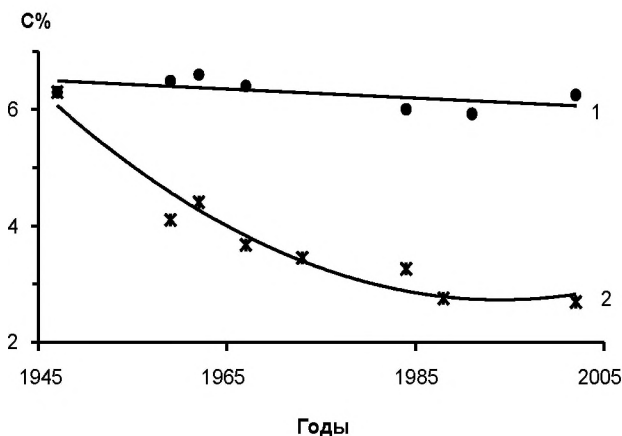


Рис. 2. Содержание $C_{орг}$ в $A_{пах}$ (2) «вечного пара» и $A1$ (1) типичного чернозема (целина)

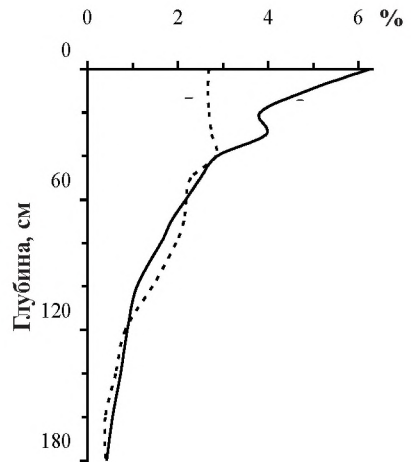


Рис. 3. Распределение $C_{общ}$ (%) по глубине: 1 — целина; 2 — пар

мах выявляет снижение в Апах величины негидролизующего остатка и значительное уменьшение фульвокислот (на 22-46%) от их содержания в целинных почвах. Абсолютное содержание гуминовых кислот при этом уменьшается меньше (4-26%). Как следствие величина показателя Сгк/Сфк в Апах по сравнению с А1j целинных почв возрастает [4, 14, 21]. По некоторым данным [20], в старопашотном черноземе потеря углерода в пылеватых фракциях составляет 4-5%, а во фракции ила — 25%, что свидетельствует о более быстрой минерализации органического вещества илистой фракции и микробиологической и химической устойчивости гумуса в составе пылеватых фракций. На наших объектах потеря углерода в илистой фракции составляет 32% (10,24% — на целине, 6,93% — пар).

Хроматографический анализ (рис. 4) ГВ из профиля целинного чернозема и пашни показал, что длительное нахождение типичного чернозема в состоянии чистого пара привело к существенному уменьшению абсолютного содержания гидрофильных компонентов (1-я и 2-я фракции) в составе ГВ пахотного горизонта и их увеличению в нижележащих. Содержание гидрофобных ГВ в составе 3-й фракции не изменилось, а 4-й — увеличилось (рис. 4).

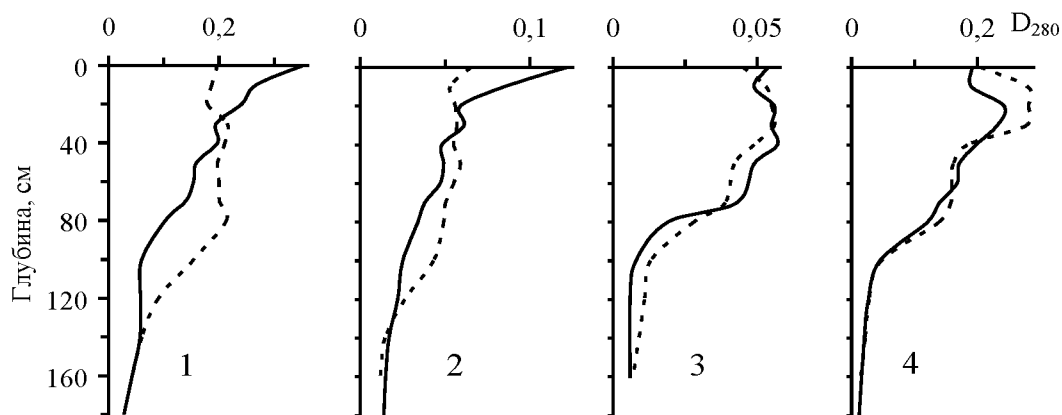


Рис. 4. Распределение по профилю типичного чернозема ГВ хроматографических фракций (1-4, см. рис. 1): целина — (————), пашня — (-----)

Уменьшение содержания гидрофильных ГВ в Апах при параллельном их накоплении в нижних горизонтах профиля говорит, с одной стороны, о меньшей устойчивости данных компонентов ГВ к процессам химической и микробиологической минерализации, а с другой, — о миграции гидрофильных ГВ по профилю. Эти данные соответствуют хорошо известным фактам об изменении фракций ГВ при деградации агрегатной структуры. Хотя традиционно агрегатная структура черноземов связывается с гуминовыми кислотами, определение состава гумуса в целинных и пахотных черноземах показывает значительное уменьшение в последних фульвокислот (на 22-46%) от их содержания в целинных почвах.

Таким образом, в условиях чистого пара, при дефиците поступления свежего органического материала, в первую очередь происходит минерализация гидрофильных компонентов ГВ, локализованных на поверхности минеральной матрицы. Очевидно, именно данный процесс является основной причиной потери свойства водостойкости агрегатов.

Полученные данные позволяют создать весьма схематизированную модель структурно-функциональной организации гидрофобно-гидрофильных компонентов ГВ в агрегате чернозема. В минеральных горизонтах профиля при гумификации органического материала *in situ* формируется гетерогенная система ГВ, компоненты которой различаются гидрофобно-гидрофильными свойствами. Водорастворимые (гидрофильные) продукты гумификации выносятся из гумифицирующихся растительных остатков и, попав на поверхность минеральных частиц, образуя с ней сорбционные и органо-минеральные комплексы, снижают ее гидрофильные свойства за счет взаимного блокирования полярных групп минеральной матрицы и покрывающих ее органических молекул. Иначе говоря, гидрофобизируют минеральную поверхность твердой фазы. В свою очередь, гидрофобные, неспособные к водной миграции продукты гумификации органического материала остаются на месте образования. Находясь между минеральными частицами, они пространственно «изолированы» от них. Накоплению гидрофобных компонентов ГВ во внутреннем объеме агрегата способствуют квазианаэробные условия гумификации органического материала. О таких условиях формирования «свежего» гумуса и указывал в своих работах В.Р. Вильямс. неполярные фрагменты молекул, с одной стороны, обуславливают их гидрофобные свойства, а с другой — устойчивость к окислительной минерализации и микробиологической утилизации, в особенности в квазианаэробных условиях.

Присутствие в объеме агрегата неполярных ГВ вызывает искажения в структуре воды, которые могут передаваться на значительные расстояния по цепочкам водородных связей и обуславливать дальное действие сил гидрофобного взаимодействия. Совместное действие ГВ, гидрофобизирующих поверхность минеральной матрицы и обособленных в микрзоны, неполярных молекул, стохастически распределенных в объеме агрегата, обуславливает его водостойчивые свойства. В водном окружении неполярные зоны стремятся друг к другу, поскольку при сближении минимизируется термодинамически невыгодный их контакт с водой. Суммарный эффект внутри агрегатных гидрофобных зон заключается в противодействии быстрому поступлению воды в агрегат, снижению его набухаемости и его устойчивости в насыщенном состоянии. Последнее доказывают данные по водостойчивости агрегатов. При минерализации гидрофильных компонентов ГВ, локализованных на поверхности минеральных частиц, открываются гидрофильные поверхности минеральной твердой фазы почвы, эффективность гидрофобных взаимодействий внутри агрегата падает, и он диспергируется водой.

Следует особо подчеркнуть роль гидрофильных компонентов в составе почвенного гумуса. О роли гидрофобных взаимодействий в почвах, в частности, свидетельствует тот факт, что устойчивость почвенных агрегатов коррелирует с содержанием в почве гидрофобной фракции гумуса [32]. Водопрочность агрегатов при добавлении в почву неполярных жидкостей увеличивается [31]. Кроме того, необходимым условием для модификации свойств поверхности твердой фазы почв органическим веществом является его нахождение в составе жидкой фазы почв, т.е. гидрофильной фракции или водорастворимого органического вещества.

Выводы

1. Гениальное предвидение В.Р. Вильямса о роли «свежего» органического вещества в процессах агрегации подтверждается физико-химическими моделями формирования агрегатной структуры черноземов, где роль сорбирующегося на твердой

минеральной поверхности выполняют гидрофильные компоненты, а соединение между частицами «минеральная поверхность — гидрофильные компоненты» осуществляется гидрофобными компонентами ГВ. Таким образом, органоминеральный водостойчивый агрегат представляет собой следующую органоминеральную композицию: «поверхность минеральной частицы — (гидрофильные компоненты — гидрофобные компоненты) = (гидрофобные компоненты — гидрофильные компоненты) — минеральная поверхность», где знаком () обозначена молекула ГВ, а символом «=» — гидрофобные взаимодействия.

2. Длительное нахождение (с 1947 г.) типичного чернозема в состоянии чистого пара привело к снижению содержания гумуса, формированию плужной подошвы, уплотнению верхнего слоя и резкому снижению водостойчивости агрегатов. В условиях чистого пара, при дефиците поступления свежего органического материала, в первую очередь происходит минерализация и частичная миграция вниз по профилю гидрофильных компонентов ГВ, локализованных на поверхности минеральной матрицы.

3. Предложена концептуальная модель водостойчивости почвенных агрегатов, связанная с соотношением гидрофильных и гидрофобных компонентов и их пространственной локализацией. Совместное действие ГВ, гидрофобизирующих поверхность минеральной матрицы и обособленных в микрзоны неполярных молекул, стохастически распределенных в объеме агрегата, обуславливает его водостойчивые свойства.

Авторы благодарны руководству Курского биосферного заповедника за предоставленные возможности исследовать уникальные почвенные объекты и помощь в работе.

Библиографический список

1. Антипов-Каратаев И.Н. Учение о почве как полидисперсной системе и его развитие в СССР за 25 лет (1917-1942) // Почвоведение. 1943. №6. С. 3-26.
2. Антипов-Каратаев И.Н., Келлерман В.В., Хан Д.В. О почвенном агрегате и методах его исследования. М.: JL: Изд-во АН СССР, 1948.
3. Антропогенная эволюция черноземов. Воронеж: ВГУ, 2000. 412 с.
4. Афанасьева Е.А. Черноземы средне-русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
5. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. 228 с.
6. Вильямс В.Р. Почвоведение. Общее земледелие с основами почвоведения. М.: Сельхозгиз, 1936. 647 с.
7. Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении. М.: ГЕОС, 2000. 138 с.
8. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с.
9. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во МГУ, 1984. 204 с.
10. Гедройц КК К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении // Изв. Гос. ин-та опытно-агрономии. Т. IV № 3, 1926. С. 117-127.
11. Кауричев И.С., Тарраринова Л.Ф. Об ОВ-условиях внутри и вне агрегатов серой лесной почвы // Почвоведение. 1972. №10. С. 39—42.
12. Качинский Н.А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. Ч. 1.
13. Колъман Я., Рем К.-Г. Наглядная биохимия. М.: Мир, 2000. 470 с.

14. Кузнецова П.В. Содержание и состав органического вещества черноземов и его роль в образовании водопрочной структуры // Почвоведение. 1998. № 1. С. 41-50.
15. Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А. Возраст и эволюция черноземов. М.: Наука, 1988. 144 с.
16. Милановский Е.Ю. Амфифильные компоненты гумусовых веществ почв // Почвоведение. 2000. № 6. С. 706-715.
17. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
18. Милановский Е.Ю., Шейн Е.В. Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусо, структурообразования и генезиса почв // Почвоведение' 2002. № 10. С. 1201-1213.
19. Милановский Е.Ю., Шейн Е.В., Степанов А.А. Лиофильно-лиофобные свойства органического вещества и структура почвы // Почвоведение. 1993. № 6. С. 122-125.
20. Пешков П.А. О химическом и минералогическом составе механических фракций мощного и выщелоченного черноземов Центрально-Черноземного заповедника // Почвоведение. 1965. № 6. С. 62-75.
21. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. JL: Наука, 1980. 222 с.
22. Проценко А.А. Физическое состояние черноземов типичных в различных условиях использования: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ 1988. 24 с.
23. Рудаков К.П. Микроорганизмы и структура почвы. М.: Сельхозгиз, 1951. 45 с.
24. Русский чернозем 100 лет после Докучаева. М.: Наука, 1983. 177 с.
25. Сердобольский П.П. Динамика окислительно-восстановительных условий в черноземных почвах Каменной степи // В кн.: Вопросы травопольной системы земледелия. М., 1953. Т. 2. С. 438-457.
26. Степанов А.Л. Продуцирование закиси азота бактериями в почвенных агрегатах // Почвоведение. 1997. 8. С. 973-976.
27. Шейн Е. В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53-61.
28. Шейн Е.В., Русанов А.М., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Николаева Е.И. Математические модели некоторых почвенных характеристик обоснование, анализ, особенности использования параметров моделей // Почвоведение. 2013. № 5. С. 595-602.
29. Шейн Е.В., Щеглов Д.П., Умарова А.Б., Соколова П.В., Милановский Е.Ю. Структурное состояние техноземов и формирование в них преимущественных потоков влаги // Почвоведение. 2009. № 6. С. 687-695.
30. Щеглов Д.П. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 с.
31. Biederbeck V.O. Using oil waste sludge disposal to conserve and improve sandy cultivated soils // Proc. 1-st Int. Symp. on il and Gas Exploration and Production Waste Management Practices (New Orleans, LA. 10-13 Sept. 1990). U.S. Environmental Protection Agency: Silver Springs, 1990. P. 1025-1038.
32. Capriel T., Beck II., Borchert II., and Harter P. Relation between aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass, and soil aggregate stability // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1990. V. 54. P. 415-420.
33. Protein Purification. Principles, High-Resolution Methods, and Applications. Edit, by Jan-Christer Janson. 1998. P. 695.
34. Six J., Elliott E. T., Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biol. Biochem. 2000. 32. 2099-2103.
35. Sullivan L.A. Soil Organic Matter, Air Encapsulation and Water-Stable Aggregation, 7. Soil Sci. 1990. Vol. 41. Pp. 529-534.

ORGANIC MATTER AND SOIL STRUCTURE:
V.R. WILLIAMS THEORY AND MODERNITY

E.V. SHEIN, E.YU. MILANOVSKIY

(Lomonosov Moscow State University)

I'R. Williams theory about the role of «fresh» organic matter in the process of aggregation is confirmed by physical and chemical models of formation of chernozem aggregate structure, where the role of substances adsorbed on solid mineral surface is performed by hydrophilic components, but aggregation of mineral particles with adsorbed hydrophilic components is realized by means of hydrophobic components of humic substances. Conceptual model of the water stability of soil aggregates associated with the ratio of hydrophilic and hydrophobic components and their spatial localization is proposed. The combined action of humic substances, hydrophobic surface mineral matrix and isolated in microzones nonpolar molecules stochastically distributed in the aggregate, results in its waterproof properties. Water stability transformation of typical chernozem aggregates at plowing is considered to be based on changes in the ratio of hydrophilic and hydrophobic components of soil humus.

Key words: soil structure, soil aggregates, humic substances, hydrophilic and hydrophobic components.

Шейн Евгений Викторович — д. б. н., зав. кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр.12; тел.: (495) 939-36-84, e-mail: main@soil.msu.ru).

Милановецкий Евгений Юрьевич - д. б. н., доц. кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.12; тел. (495) 939-36-84, e-mail: main@soil.msu.ru).

Shein Evgeniy Viktorovich — Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of soil physics and reclamation. Faculty of soil science, Lomonosov Moscow State University (119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, bid. 12; tel.: (495) 939-36-84; e-mail: mainf/soil.msu.ru).

Milanovskiy Evgeniy Yurievich — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of soil physics and reclamation. Faculty of soil science, Lomonosov Moscow State University (119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, bid. 12; tel.: (495) 939-36-84; e-mail: mainf/soil.msu.ru).