

УДК 631.412

ПРИРОДА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВОЗДУШНО-СУХИХ ПОЧВ С ВОДОЙ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. Института экологического почвоведения*

МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук⁽¹⁾,

М.Ф. ФЕДОТОВА, научный сотрудник МГТУ им. Н.Э. Баумана⁽²⁾,

В.С. ШАЛАЕВ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук⁽²⁾,

Ю.П. БАТЫРЕВ, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽²⁾,

А.Г. ШМАТОВА, ф-т почвоведения МГУ⁽¹⁾

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»
119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Институт экологического почвоведения, МГУ

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Общепризнано, что почвенные коллоиды в виде гелей покрывают и связывают почвенные частицы между собой, обеспечивая существование почвы как системы с определенным набором свойств. Одними из важнейших свойств, характеризующих подобные системы, являются структурно-механические свойства. Целью настоящего исследования являлось изучение природы возникновения колебаний напряжения сдвига при работе ротационного вискозиметра при помещении в него почвенных паст, приготовленных из воздушно-сухих почв и воды. Результаты исследований позволяют предположить, что ведущим процессом является иссушение (уменьшение влажности) верхнего слоя почвенной пасты в кювете с вращающимся шпинделем. Высыхание почвы приводит к появлению связей между иссушенным слоем и шпинделем и их разрушению, то есть появлению колебаний. Предложенный механизм возникновения колебаний позволяет предположить влияние различных параметров на положительные и отрицательные обратные связи и на весь процесс возникновения колебаний в целом. Проведенное исследование свидетельствует, что возникновение колебаний напряжения сдвига в почвенных пастах является частным процессом, характерным для ротационной вискозиметрии при испарении из пасты в процессе эксперимента воды. Однако колебания не могли бы возникать при отсутствии структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей при потере почвенным образцом воды.

Ключевые слова: почвенные коллоиды, супрамолекулярные образования, воздушно-сухие почвы, вода, взаимодействие.

В настоящее время общепризнано, что почвенные коллоиды в виде гелей покрывают и связывают почвенные частицы между собой, обеспечивая существование почвы как системы с определенным набором свойств [8]. Причем, почвенные гели рассматривают как наполненную различными частицами гумусовую матрицу [9], которая имеет многоуровневую организацию. На первом уровне из простых органических молекул образуются супрамолекулярные образования гумусовых веществ (ГВ) размером несколько нанометров (первичные частицы ГВ), имеющие мозаичную гидрофильно-гидрофобную поверхность. На втором уровне первичные частицы ГВ объединяются между собой в водной среде через гидрофобные участки поверхности, образуя фрактальные кластеры размером 100–200

нм, которые (третий уровень), взаимопроникающая и взаимодействуя между собой через оставшиеся свободными гидрофобные участки первичных частиц ГВ, образуют гумусовую матрицу [11, 12]. При высушивании подобных систем происходит постепенная замена контактов между частицами ГВ и водой на контакты частицы ГВ – воздух. В результате при достижении определенного уровня влажности существование связей в гумусовой матрице через гидрофобные участки становится термодинамически невыгодным и меняется на гидрофильные связи, то есть в гумусовой матрице происходит структурный переход [11], который влияет на многие свойства почв [11].

Наполненный гумусовый студень (почвенный гель), определяющий многие свойства почв, ведет себя подобно многим

полимерам – набухает, вбирая в себя воду и увеличиваясь в объеме, а при высушивании происходит его усадка.

Одними из важнейших свойств, характеризующих подобные системы, являются структурно-механические свойства [1–3, 13].

Некоторое время назад при помощи ротационного вискозиметра было изучено взаимодействие воздушно-сухих почв с водой и обнаружено существование очень сильных периодических и непериодических колебаний напряжения сдвига во времени [10]. Было предложено объяснение причины возникновения этих колебаний, но полной уверенности в корректности этого объяснения не было.

Материалы и методы исследования

Целью настоящего исследования являлось изучение природы возникновения колебаний напряжения сдвига при работе ротационного вискозиметра при помещении в него почвенных паст, приготовленных из воздушно-сухих почв и воды.

В работе использовали образцы, отобранные из пахотных горизонтов среднекультурной, среднесуглинистой, дерново-подзолистой почвы из окрестностей поймы р. Яхромы и Воронежского выщелоченного чернозема.

При приготовлении образцов для исследования 20–25 г воздушно-сухой почвы с размером частиц менее 2 мм смешивали в течение 2–3 мин с водой, количество которой обеспечивало получение почвы с определенной влажностью. После этого почву загружали в ячейку ротационного вискозиметра [14] Брукфилда HBDV-II+PRO (компания Brookfield, США). В работе использовали адаптер для малых образцов SSA и шпиндель SC4-27 SSA.

Время от добавления воды в почву до начала процесса измерения (время, в течение которого исследования изменений структурно-механических свойств не проводили) составляло около 15 мин. Для сравнения были проведены эксперименты, в которых пасты помещали в ячейку вискозиметра через сут-

ки после приготовления. Изучали изменение напряжения сдвига в ротационном вискозиметре после помещения в него почвенных паст и включения вращения при заданной скорости сдвига. Скорость сдвига изменяли в интервале 0,17–3,4 с⁻¹. Ячейку вискозиметра при проведении экспериментов термостатировали, поддерживая температура 25°C и 35°C.

После приготовления часть почвенной пасты отбирали и проводили определение влажности при помощи «Анализатора влажности MB25».

Результаты и обсуждение

При изучении дерново-подзолистой почвы значительных колебаний обнаружено не было. В качестве примера приведено несколько графиков (рис. 1–2).

При проведении экспериментов с пастами дерново-подзолистой почвы можно было отметить ряд особенностей.

1. При помещении почвенной пасты дерново-подзолистой почвы в ячейку и вращении шпинделя происходит сегрегация пасты с выделением тяжелых (песчаных частиц) в нижней части ячейки и у стенок. Почвенный раствор располагается в верхней части ячейки над почвой.

2. В процессе вращения шпинделя около его хвостовой части собираются мелкие пузырьки воздуха. После их удаления (фильтровальной бумагой) они постепенно вновь появляются у хвостовой части шпинделя.

3. Почвенный раствор, находящийся в верхней части ячейки, постепенно за 2–3 часа исчезает, по-видимому, частично впитывается в дерново-подзолистую почву, а частично испаряется. При наличии слоя почвенного раствора в ячейке напряжение сдвига растет, а после поглощения и испарения воды выходит на постоянный уровень.

4. Добавление воды в ячейку приводит к возобновлению роста напряжения сдвига.

5. Около хвостовой части шпинделя при его вращении постепенно образуется конусообразная воронка, заполненная водой. Почвенные частицы отбрасываются в верхней части ячей-

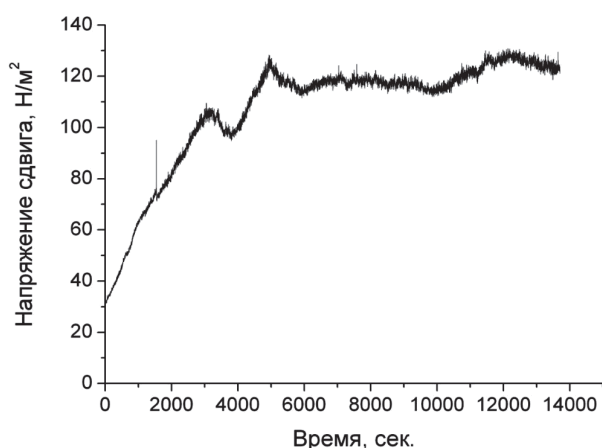


Рис. 1. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: дерново-подзолистая, скорость сдвига – $1,7 \text{ с}^{-1}$, температура – 25°C

Fig. 1. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: sod-podzolic, shear rate – $1,7 \text{ s}^{-1}$, the temperature of – 25°C

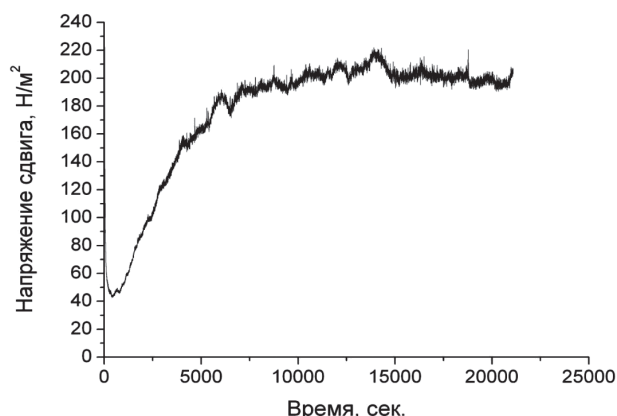


Рис. 2. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: дерново-подзолистая, скорость сдвига – $1,7 \text{ с}^{-1}$, температура – 25°C

Fig. 2. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: sod-podzolic, shear rate – $1,7 \text{ s}^{-1}$, the temperature of – 25°C

ки от центра к периферии, как это и должно наблюдаться для частиц, которые тяжелее воды.

6. При помещении порошка мела в виде вертикальной полоски в слой почвы

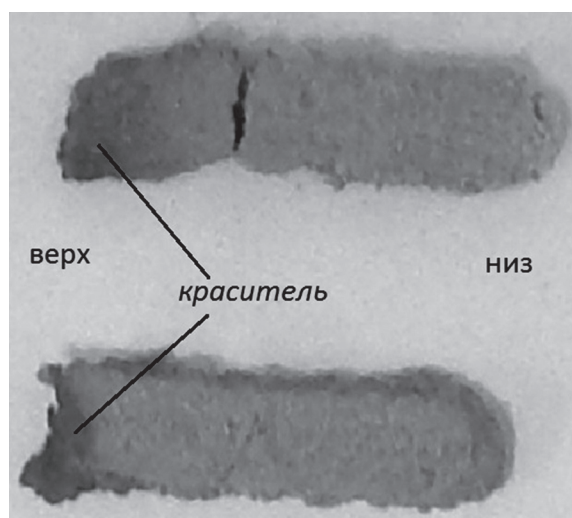


Рис. 3. Исследование дерново-подзолистой почвы с красителем Эозин К: 10 мин вращения со скоростью сдвига $5,1 \text{ с}^{-1}$ после загрузки, внесение красителя и вращение еще 10 мин со скоростью сдвига $5,1 \text{ с}^{-1}$; верхнее изображение пласта примыкало к шпинделю, нижнее – к стенке кюветы

Fig. 3. Investigation of the sod-podzolic soil with the dye «Eosin K»: 10 minutes rotation at a speed of the shift as $5,1 \text{ s}^{-1}$ after boot, dying and rotation for 10 minutes at a shear rate of $5,1 \text{ s}^{-1}$; the top layer of the image adjoined to the spindle, the lower one – to the cell wall

между стенкой ячейки и шпинделем и при последующем вращении полоска из порошка мела не изменяется. Это свидетельствует об отсутствии перемещения частиц почвы друг относительно друга в слое почвы между шпинделем и стенкой ячейки.

7. Помещение красителя в ячейку над утолщением шпинделя с последующим включением вращения свидетельствует, что почвенный раствор дерново-подзолистой почвы не перемещается у стенки ячейки и слабо перемещается сверху вниз по поверхности почвы, контактирующей со шпинделем (рис. 3).

8. Помещение красителя в ячейку под шпинделем с последующим включением вращения свидетельствует, что почвенный раствор дерново-подзолистой почвы перемещается снизу вверх по поверхности почвы, контактирующей со шпинделем. При этом толщина покрашенного слоя соответствует первому слою песчинок, примыкающих к шпинделю (рис. 4).

Полученные при изучении дерново-подзолистой почвы результаты позволяют сделать вывод, что при вращении шпинделя в пасте (приготовленной из воздушно-сухой почвы и воды) из нее непрерывно выделяется заземленный при приготовлении пасты воз-

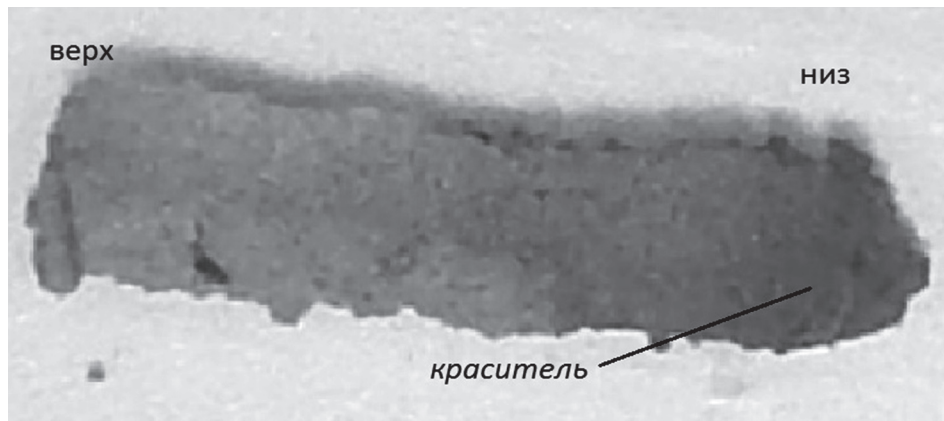


Рис. 4. Исследование дерново-подзолистой почвы с красителем Эозин К: 15 мин вращения со скоростью сдвига $5,1 \text{ с}^{-1}$ после загрузки, внесения красителя и вращение в течение еще 15 мин со скоростью сдвига $5,1 \text{ с}^{-1}$

Fig. 4. Investigation of the sod-podzolic soil with the dye «Eosin K»: 15 minutes rotation at a speed of the shift as $5,1 \text{ s}^{-1}$ after boot, dying and rotation for 15 minutes at a shear rate of $5,1 \text{ s}^{-1}$

дух. Об этом свидетельствует существование «ожерелья» из пузырьков воздуха вокруг верхней части шпинделя. Судя по распространению красителя вдоль поверхности шпинделя (вверх он распространяется заметно быстрее, чем вниз), можно предположить, что воздух выделяется вдоль поверхности шпинделя. Так как пузырьки воздуха неустойчивы и непрерывно лопаются, то возрастание их числа на поверхности воды свидетельствуют о постепенном выходе защемленного воздуха из образца почвенной пасты при вращении шпинделя.

Увеличение напряжения сдвига, по-видимому, связано с набуханием дерново-подзолистой почвы в ячейке, ее давлением на шпиндель из-за фиксации структуры почвенного образца – отсутствия перемещения частиц друг относительно друга (эксперимент с порошком мела), что позволяло бы снять возникающие напряжения.

Наличие непериодических, относительно небольших колебаний напряжения сдвига при набухании почвы в ячейке может быть объяснено поглощением воды дерново-подзолистой почвой и повышением в ней давления, которое периодически снижается при удалении из почвенной пасты защемленного почвенного воздуха.

Таким образом, для пасты, полученной из среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы, причины возникновения зна-

чительных колебаний напряжения сдвига в ротационном вискозиметре отсутствуют. Можно ожидать, что и для других почвенных паст, содержащих крупные частицы и способных расслаиваться в ячейке ротационного вискозиметра, колебаний тоже наблюдаться не будет.

При изучении почвенных паст, приготовленных из воды и воздушно-сухого чернозема, наблюдается принципиально иная картина – в определенных условиях возникают периодические усиливающиеся колебания. Количество их невелико – несколько штук (3–6), но выраженность достаточно отчетливая – напряжение сдвига меняется почти на порядок (рис. 5–6).

Необходимо отметить, что в отличие от дерново-подзолистой почвы расслоения в пасте из чернозема при вращении шпинделя не наблюдается, а колебания появляются, когда верхний слой почвенной пасты начинает подсыхать, а напряжение сдвига при этом начинает нарастать. Причем добавление нескольких капель воды в верхний слой почвы приводит к исчезновению нарастания напряжения сдвига, которое опять проявляется после подсыхания почвы (рис. 7). Значительное уменьшение испарения при закрывании кюветы с пастой крышкой с отверстием для хвостовика шпинделя практически полностью исключает или значительно уменьшает нарастание напряжения

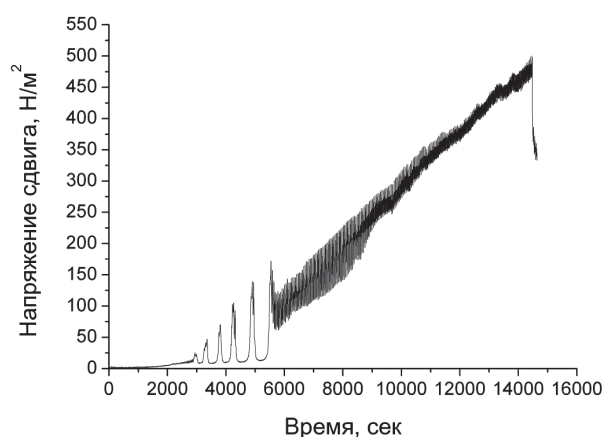


Рис. 5. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,306 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $42,71\%$

Fig. 5. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate $0,306 \text{ s}^{-1}$, the temperature $24,8^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) $42,71\%$

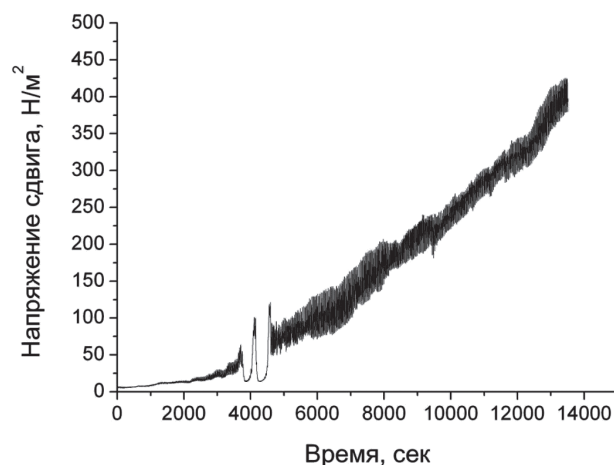


Рис. 6. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,408 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $42,31\%$ (без крышки)

Fig. 6. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate $0,408 \text{ s}^{-1}$, the temperature $24,8^\circ\text{C}$, moisture of the paste (soil) $42,31\%$ (without lid)

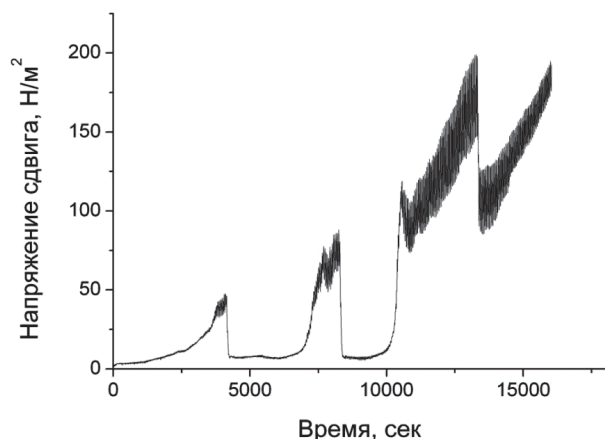


Рис. 7. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,306 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) меняли добавлением воды при начальной стадии роста напряжения сдвига (без крышки)

Fig. 7. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $0,306 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) was changed by adding water at an initial stage of growth of the shear stress (without lids)

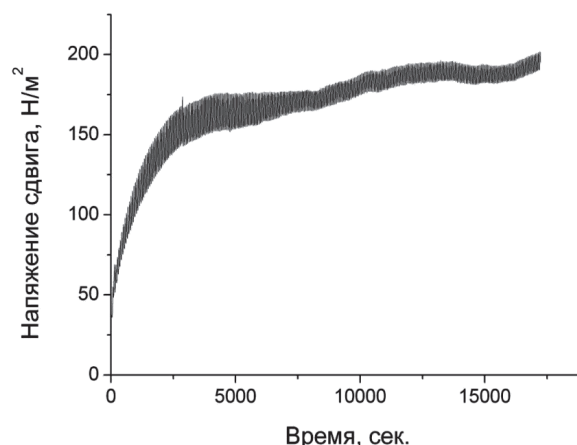


Рис. 8. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,238 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $41,42\%$ (с крышкой)

Fig. 8. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $0,238 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) – $41,42\%$ (with a lid)

сдвига во времени и появление колебаний (рис. 8–9).

Полученные экспериментальные результаты также свидетельствуют, что, во-

первых, колебания появляются на пасте из чернозема только при малых скоростях сдвига ($0,306 - 0,408 \text{ 1/с}$), а при больших скоростях сдвига периодических колебаний

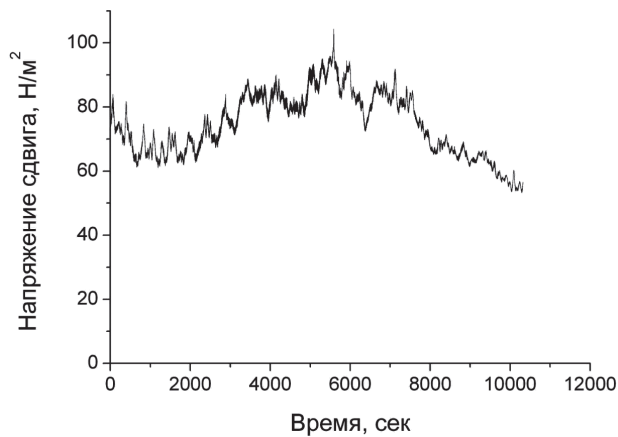


Рис. 9. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $2,55 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность пасты (почв) – $40,65 \%$ (с крышкой)

Fig. 9. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $2,55 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, moisture paste (soil) – $40,65\%$ (with a lid)

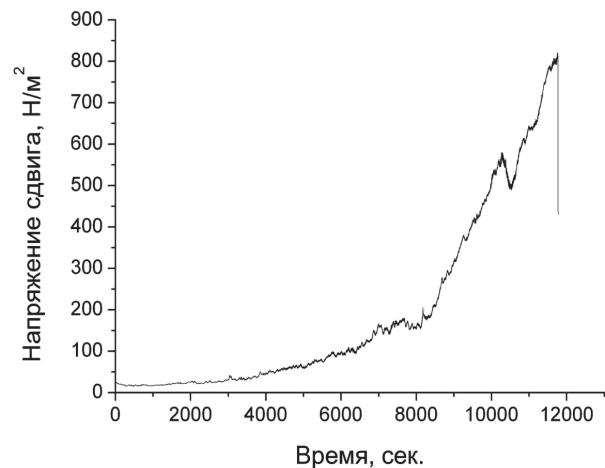


Рис. 10. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $2,55 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность пасты (почв) – $40,75 \%$

Fig. 10. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $2,55 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, moisture paste (soil) – $40,75\%$

обнаружить не удастся (рис. 10). Во-вторых, приготовление почвенной пасты за сутки до помещения в ячейку вискозиметра не исключает появления колебаний (рис. 11), что позволяет исключить из рассмотрения взаимодействие воздушно-сухих почв с водой, проходящее в почвенной пасте как ведущий процесс, приводящий к возникновению диссипативных структур [4–7]. В-третьих, проведение экспериментов при температурах $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ не показало значимых различий между ними.

Выводы

Все это позволяет предположить, что ведущим процессом является иссушение (уменьшение влажности) верхнего слоя почвенной пасты в кювете с вращающимся шпинделем. Высыхание почвы приводит к появлению связей между иссушенным слоем и шпинделем и их разрушению, то есть появлению колебаний.

Появляющиеся связи, по-видимому, возникают при образовании структур из частиц при иссушении почвы, растущих от уже иссушенного слоя (корки) к шпинделю. С позиций синергетики для возникновения колебаний в системе необходимо существование

положительных и отрицательных обратных связей [4–7]. Можно предположить, что в качестве положительных обратных связей выступает образование фрактальных структур от «корки» к шпинделю. Как было отмечено выше, фрактальные образования характерны

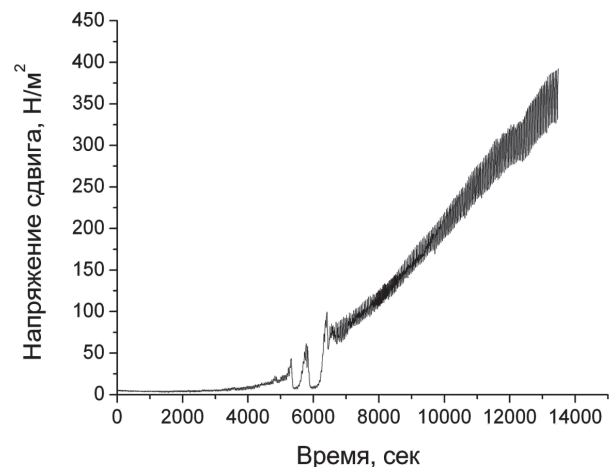


Рис. 11. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, взаимодействовавший с водой 1 сутки, скорость сдвига – $0,306 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность пасты (почв) – $41,56 \%$ (без крышки)

Fig. 11. Fluctuations of shear stresses in the interaction time of air-dry soil to water: mold, reacting with water for 1 day, the shear rate – $0,306 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, moisture paste (soil) – $41,56\%$ (without lid)

**Предполагаемое влияние различных параметров на возникновение
в почвенных пастах в ротационном вискозиметре колебаний**
The estimated impact of various parameters on the occurrence
in the soil pastes in the rotary viscometer vibrations

Параметр	Положительная обратная связь – образование фрактальных структур	Отрицательная обратная связь – отрыв фрактальных структур	Возможность реализации колебательного процесса
Размер почвенных частиц	При расслоении почвенной пасты, состоящей из достаточно крупных частиц, «корка» не возникает – в верхнем слое оказывается выделившаяся из пасты вода. В результате образование и разрушение фрактальных структур с «коркой» невозможно		Колебания отсутствуют
Качество гумуса	Изменение соотношения между гидрофильными и гидрофобными участками может влиять на возникновение и разрушение фрактальных структур сложным образом. Увеличение количества и размеров гидрофильных участков (возрастание фульватности гумуса) должно приводить, с одной стороны, к росту разветвленности фрактальных структур, а с другой – к потере ими прочности. Первый процесс должен вести к инициированию колебаний за счет усиления положительных обратных связей, второй процесс – к ослаблению отрицательных обратных связей		Однозначный ответ дать сложно. Колебания могут усиливаться и исчезать
Содержа- ние солей в почве	При увеличении концентрации солей размер ионных атмосфер вокруг гидрофильных участков поверхности уменьшается (они сжимаются) и разветвленность фрактальных структур падает вплоть до полного их исчезновения, то есть исчезает положительная обратная связь	В результате уменьшения разветвленности фрактала суммарное напряжение на его основании, складывающееся из напряжений на каждой ветви, снижается. Это уменьшает вероятность разрушения фрактала, то есть ослабляет отрицательную обратную связь	Колебания уменьшаются при росте концентрации солей и полностью исчезают
Влажность почвенной пасты	Увеличение влажности почвенной пасты будет увеличивать время испарения избыточной воды до содержания в пасте воды, позволяющей возникать фрактальным структурам		Вырастет время до возникновения колебаний
Темпера- тура	Рост скорости испарения воды при росте температуры приведет к ускорению иссушения пасты (образования «корки») и образованию фрактальных структур. Кроме того, за счет энтропийного эффекта при увеличении температуры возрастет разветвленность фрактальных структур. Все это приведет к ускорению реализации и усилению положительной обратной связи	Рост температуры в системе приведет к увеличению вероятности самопроизвольного не активированного сдвигом отрыва фрактальных структур от «корки» и самопроизвольному разрыву связи между «коркой» и шпинделем. То есть отрицательная обратная связь будет уменьшаться	Уменьшится время до появления колебаний, но при дальнейшем росте температуры они, вероятнее всего, исчезнут
Скорость сдвига	На рост фрактальных образований от «корки» увеличение скорости сдвига не должно оказывать значимого влияния	Увеличение скорости сдвига выше определенного предела, вероятнее всего, приведет к уменьшению передачи энергии вращения к основанию фрактальных структур. Поэтому они начнут разрушаться в пространстве, прилегающем к шпинделю. Фактически это означает ослабление отрицательной обратной связи	При увеличении скорости сдвига должна увеличиваться частота и падать амплитуда колебаний вплоть до уменьшения их выраженности и полного исчезновения

в почвах для структур из ГВ из-за дифильной поверхности частиц ГВ.

В качестве обратной связи, необходимой для реализации колебательного процесса, по-видимому, выступает структурный переход в гумусовой матрице при потере верхним слоем почвенной пасты воды. Этот структурный переход осуществляется, вероятнее всего, в верхней, более сухой части образующихся фрактальных структур. Происходит переход от гидрофобных связей, связывающих частицы ГВ, к гидрофильным связям. При подобном переходе прочность структурных связей падает, что приводит по достижении определенной величины напряжения сдвига к отрыву фрактальных образований, обеспечивающих связь более сухого слоя почвенной пасты (корки) со шпинделем. Можно предположить, что передаваемое по фракталу в его верхнюю часть напряжение от вращающегося шпинделя активирует процесс структурного перехода.

Затем повторяется образование и рост фрактальных структур и их разрушение при достижении определенного напряжения сдвига. При этом накопление фрактальных структур в пасте приводит к росту напряжения сдвига, разрушающего образовавшиеся структуры. Колебания продолжают до тех пор, пока отрыв фрактальных структур от почвенной «корки» не станет невозможным.

Предложенный механизм возникновения колебаний позволяет предположить влияние различных параметров на положительные и отрицательные обратные связи и на весь процесс возникновения колебаний в целом (таблица).

Следует отметить, что этот анализ основан на том, что почвенная паста находится в равновесном состоянии, а структурный переход в провзаимодействовавшей с водой воздушно-сухой почве произошел полностью, и связь между частицами в почвенной пасте обеспечивается, в основном, гидрофобными участками. Если же процесс не дошел до конца, то могут появиться до-

полнительные эффекты в колебательном процессе, предсказать которые достаточно сложно.

Таким образом, проведенное исследование свидетельствует, что возникновение колебаний напряжения сдвига в почвенных пастах является частным процессом, характерным для ротационной вискозиметрии при испарении из пасты в процессе эксперимента воды. Однако колебания не могли бы возникать при отсутствии структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей при потере почвенным образцом воды.

Библиографический список

1. Аbruкова, Л.П. Кинетика процессов тиксотропного структурообразования в почвенных суспензиях / Л.П. Аbruкова // Почвоведение. – 1970. – № 3. – С. 104–114.
2. Аbruкова, Л.П. Тиксотропные свойства темно-серых лесных почв / Л.П. Аbruкова // Почвоведение. – 1972. – № 8. – С. 74–82.
3. Бибик, Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: ЛГУ, 1981. – 172 с.
4. Жаботинский, А.М. Концентрационные автоколебания / А.М. Жаботинский. – М.: Наука, 1974. – 180 с.
5. Исаев, В.В. Синергетика для биологов: вводный курс / В.В. Исаев. – М.: Наука. – 2005. – 158 с.
6. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 344 с.
7. Пригожин, И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Едиториал, УРСС 2003. – 312 с.
8. Тюлин, А.Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений / А.Ф. Тюлин. – М.: АН СССР, 1958. – 52 с.
9. Федотов, Г.Н. Возможные пути формирования нано- и микроструктур в гумусовых веществах почвенных гелей / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // Почвоведение. – 2012. – № 8. – С. 908–920.
10. Федотов, Г.Н. Колебательные процессы при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, С.А. Шоба и др. // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 445. – № 2. – С. 234–237.
11. Федотов, Г.Н. Влияние структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей на некоторые свойства почв / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 457. – № 1. – С. 57–60.
12. Федотов, Г.Н. Фрактальные кластеры из супермолекул гумусовых веществ в почвах / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 366–369.
13. Фролов, Ю.Г. Структурообразование в дисперсных системах. Реологические свойства структур / Ю.Г. Фролов. – М.: МХТИ, 1980. – 63 с.
14. Шрам, Г. Основы практической реологии и реометрии / Г. Шрам. – М.: КолосС, 2003. – 312 с.

THE NATURE OF OSCILLATORY PROCESSES IN THE INTERACTION OF AIR-DRY SOIL WITH WATER

Fedotov G.N., Senior Researcher, Institute of Ecological Soil Science Lomonosov Moscow State University, Dr. Sci (Biol.)⁽¹⁾; **Fedotova M.F.**, Bauman Moscow State Technical University⁽²⁾; **Shalaev V.S.**, Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci (Tech.)⁽²⁾; **Batyrev Y.P.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tehn.)⁽²⁾; **Shmatova A.G.**, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Lomonosov Moscow State University (MSU), Institute of Ecology Soil Science, MSU, GSP-1, Leninskiye Gory, 1-12, 119991, Moscow, Russia,

⁽²⁾ Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, Mytishchi, Moscow reg., Russia, 141005

It is generally accepted that the soil colloids in the form of gels cover and bind the soil particles together, ensuring the existence of soil as a system with a certain limited set of properties. One of the most important properties characterizing such systems are structural-mechanical properties. The purpose of this study was to investigate the nature of the shear stress oscillations occurrence during the work of the rotational viscometer with soil pastes prepared with air-dry soil and water placed inside. The results of the research suggest that the leading process is the drying (moisture reduction) of the upper layer of the soil paste in a ditch with a rotating spindle. Soil drying leads to the appearance of ties between the dried layer and the spindle, and their destruction, i.e. the emergence of oscillations. The proposed mechanism for the occurrence of oscillations forecasts the influence of various parameters on positive and negative reactions on the whole process and the process of oscillation occurrence in general. The study shows that the emergence of oscillations of the shear stress in soil pastes is a private process, which is characteristic for rotational viscometry by evaporation from the paste in the process of experiment water. However, the fluctuations could not occur in the absence of structural transition in the humic matrix of soil gels during loss of water by the soil sample.

Keywords: soil colloids, supramolecular formation, air-dry soil water interaction.

References

1. Abrukova L.P. *Kinetika protsessov tiksotropnogo strukturoobrazovaniya v pochvennykh suspenziyakh* [Kinetics of the thixotropic structure formation in soil suspensions], *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1970, № 3, pp. 104-114.
2. Abrukova L.P. *Tiksotropnye svoystva temno-serykh lesnykh pochv* [Thixotropic properties of dark gray forest soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1972, № 8, pp. 74-82.
3. Bibik E.E. *Reologiya dispersnykh sistem* [Rheology of disperse systems], Leningrad: LGU, 1981, 172 p.
4. Zhabotinskiy A.M. *Kontsentratsionnye avtokolebaniya* [Concentration self-oscillations], Moscow, Nauka, 1974. 180 p.
5. Isaev V.V. *Sinergetika dlya biologov: vvodnyy kurs* [Synergetics for biologists: an introductory course], Moscow: Nauka, 2005, 158 p.
6. Nikolis G., Prigozhin I. *Poznanie slozhnogo* [Understanding a complex], Moscow: Editorial URSS, 2003, 344 p.
7. Prigozhin I., Stengers I. *Poryadok iz khaosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy* [Order out of chaos. Man's new dialogue with nature], Moscow: Editorial, URSS 2003, 312 p.
8. Tyulin A.F. *Organo-mineral'nye kolloidy v pochve, ikh genezis i znachenie dlya kornevogo pitaniya vysshikh rasteniy* [Organo-mineral colloids in soils, their Genesis and significance for root nutrition of higher plants], Moscow: AN SSSR, 1958, 52 p.
9. Fedotov G.N., Dobrovol'skiy G.V. *Vozможные пути формирования nano- i mikrostruktur v gumusovykh veshchestvakh pochvennykh geley* [Possible ways of formation of nano – and microstructures of humic substances in soil gels]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2012, № 8, pp. 908-920.
10. Fedotov G.N., Dobrovol'skiy G.V., Shoba S.A., Pozdnyakov A.I., Puzanova A.E. *Kolebatel'nye protsessy pri vzaimodeystvii vozdušno-sukhikh pochv s vodoy* [Oscillatory processes in the interaction of air-dry soil with water], *Doklady akademii nauk* [Doklady Chemistry], 2012, T. 445, № 2, pp. 234-237.
11. Fedotov G.N., Shoba S.A. *Vliyanie strukturnogo perekhoda v gumusovoy matritse pochvennykh geley na nekotorye svoystva pochv* [Fractal clusters from the base of humic substances in soils]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Chemistry], 2014, T. 457, № 1, pp. 57-60.
12. Fedotov G.N., Shoba S.A. *Fraktal'nye klasteri iz supermolekul gumusovykh veshchestv v pochvakh* [Fractal clusters from the base of humic substances in soils]. *Doklady akademii nauk* [Doklady Chemistry], 2013, T. 448, № 3, pp. 366-369.
13. Frolov Yu.G. *Strukturoobrazovanie v dispersnykh sistemakh. Reologicheskie svoystva struktur* [Structure formation in disperse systems. Rheological properties of the structures], Moscow: MKhTI, 1980, 63 p.
14. Shram G. *Osnovy prakticheskoy reologii i reometrii* [Basics of practical rheology and reometry], Moscow: KolosS, 2003, 312 p.