

## МАГНИТНЫЕ НАНО- И МИКРОМАТЕРИАЛЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ЛЕССИВАЖА

М. В. Нецветов<sup>1</sup>, М. В. Роменский<sup>1</sup>, П. К. Хиженков<sup>2</sup>, В. И. Нецветов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донецкий национальный университет,

<sup>2</sup> Донецкий физико-технический институт НАН Украины

### МАГНІТНІ НАНО- ТА МІКРОМАТЕРІАЛИ В МОДЕЛЮВАННІ ЛЕСИВАЖУ

Запропоновано експериментальну модель вертикальної міграції колоїдних та суспензійних часток у ґрунті. Отримано нелінійний характер залежності швидкості проходження часток крізь ґрунт залежно від глибини горизонту в профілі чорнозему лісопокрашеного.

*Ключові слова:* лесиваж, експериментальна модель.

M. V. Netsvetov<sup>1</sup>, M. V. Romensky<sup>1</sup>, P. K. Khizhenkov<sup>2</sup>, V. I. Netsvetov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Donetsk national university,

<sup>2</sup> Donetsk Institute of Physics and Technology of the NAS of Ukraine

### USAGE OF NANOMAGNETIC AND MICROMATERIALS WHILE THE LESSIVATION MODELING

The experimental model of vertical migration of colloidal and suspension particles in the soil is proposed. It is showed a no linear character of the velocity of the lessivage dependently of the pattern depth.

*Keywords:* lessivation, test model.

В изучении направления процесса почвообразования под лесом большое значение имеет определение наличия процессов механического переноса коллоидов и микрочастиц. Особая важность этого обусловлена внешним сходством (конвергенцией) профиля оподзоленных и лессивированных почв, при том что почвы с преобладанием лессиважных процессов, в отличие от подзолов, не обедняются (Белова, 1999; Травлеев, 2007). Тем не менее сложности исследования поведения наиболее мелких частиц в почве затрудняют понимание тонких механизмов почвообразования. В связи с этим большое значение приобретает моделирование перемещения подвижных элементов почвы. Ранее нами (Нецветов, 2003, 2006а, 2006б) по предложению и при консультативной поддержке А. П. Травлеева была экспериментально продемонстрирована возможность влияния вибраций деревьев на механическое перемещение микрочастиц в почве. Вместе с тем под лессиважем понимают вертикальную миграцию коллоидов с гравитационной водой из верхних горизонтов профиля почв в нижние (Дюшофур, 1970). Поэтому в настоящей работе мы моделировали лессиваж с имитацией взвешенного состояния коллоидальных частиц и общего потока вниз через поры и трещины почвы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В эксперименте исследовали образцы почвы чернозема лесоулучшенного, отобранного в ясеневой дубраве возрастом 35–40 лет в 20 км на юг от Донецка. Пробная площадь расположена в балке, средней трети склона 5° северной экспозиции. Тип лесорастительных условий – суглинок суховатый. Образцы почвы без повреждения структуры помещали в чашки Петри вдавливанием в стенку профиля на глубине 10–15 см (Н<sub>1</sub>), 45–55 см (Н) и 70–80 см (Н<sub>р</sub>). Затем образцы увлажняли из пульверизатора, после чего в них погружали пробирки на 2 см. Каждый образец аккуратно продвигали вглубь на 2–3 см равномерным надавливанием на всю поверхность до тех пор, пока образец не упирался в целлулоидную пробку, предварительно помещенную в пробирку. Далее почву высушивали при 35–40° в течение суток. На образцы равномерно насыпали навеску (объем 0,5 мл) намагниченных никелевых частиц, плакиро-

ванных алюминием, производства предприятия «Торезтвердосплав». Для эксперимента частицы предварительно просеивали через сита, получая фракции: 1) 100–200 мкм; 2) 20–100 мкм и 3) от 5 нм до 20 мкм. Кроме того, использовали порошок магнитомягкого карбонильного железа со средним диаметром частиц 5 нм. Пробирку с опытными образцами помещали в межполюсное пространство катушек электромагнитов (рис. 1) так, чтобы поверхность почвы была на 1,5 см выше уровня железных сердечников. В предварительных экспериментах с пенополиуритановой пробкой определяли наиболее эффективные для «оживления» частиц параметры магнитного поля.

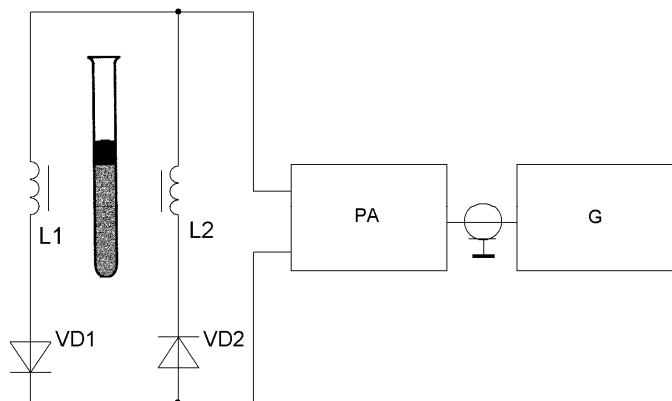


Рис. 1. Экспериментальная установка для магнитооживления микро- и наночастиц:  
G – генератор Г6-28; PA – усилитель; VD1 и VD2 – диоды;  
L1 и L2 – катушки электромагнитов; пробирка с образцом почвы на целлулоидной пробке

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Используемый в модели метод – динамическая локализация магнитооживленного слоя – заимствован из магнитной гидродинамики (Хиженков, 1996). Магнитооживление создается намагниченными частицами магнитотвердых материалов в переменном или вращающемся магнитном поле, которое вынуждает их вращаться вокруг своей оси. Из-за столкновений друг с другом и со стенками емкости частицы приобретают импульс поступательного движения, в результате чего весь объем частиц переходит во взвешенное состояние (рис. 2, а). Если магнитное поле однородно, оживление начинается сверху, а необходимая для «закипания» величина амплитуды поля прямо пропорциональна размерам частиц (см. Хиженков, 1989).

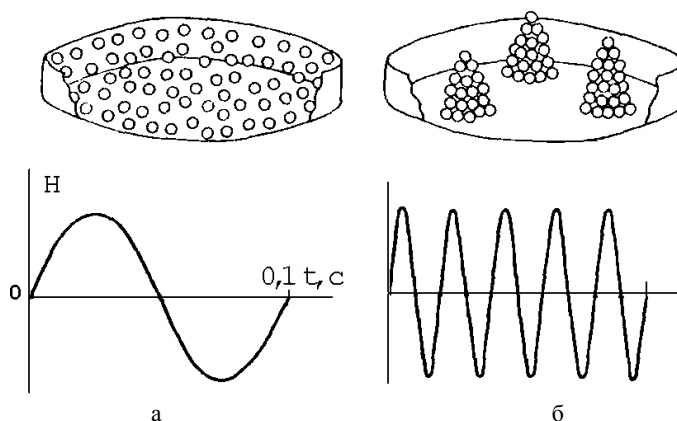


Рис. 2. Схема перехода взвешенного слоя из магнитооживленного состояния (а) в конденсированное (б) при различных  $H(t)$ :  
а –  $f=10$  Гц; б –  $f=50$  Гц (Хиженков, 1996)

Движение частиц в магнитоожигенном слое напоминает броуновское, а его скорость находится в прямой зависимости от индукции поля. С ростом интенсивности движения увеличивается и число столкновений. Реализация магнитоожигенного слоя возможна лишь в определенном диапазоне частот и величин индукции магнитного поля. За пределами такого диапазона частицы выходят из взвешенного состояния – конденсируются (рис. 2, б).

Описанные характеристики магнитоожигения лежат в основе качественного моделирования движения частиц в истинных коллоидах, причем, варьируя параметрами поля, можно добиваться эффектов диффузии (циркуляция частиц в направлении и против градиента поля) и коагуляции (конденсация в надкритических частотах и амплитудах поля). Однако в магнитоожигенное состояние в переменном магнитном поле переходят лишь частицы с остаточной намагниченностью, что существенно сужает перечень материалов для использования. Вместе с тем применение пары попеременно включающихся электромагнитов (метод динамической локализации магнитоожигенного слоя) позволяет использовать как магнитотвердые, так и магнитомягкие частицы (рис. 3).

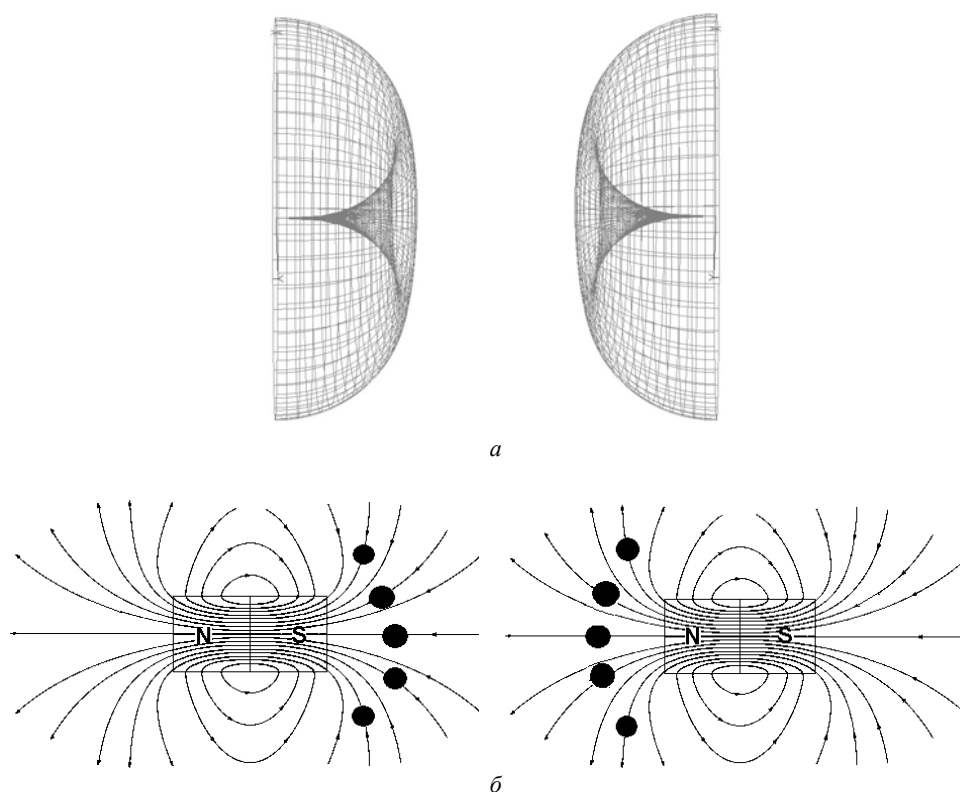


Рис. 3. Конфигурация силовых линий магнитного поля  
(а) экспериментальной установки и расположение магнитных частиц  
(б) на первом (слева) и втором полупериодах (справа)

Как было сказано выше, в моделировании лессиважа внимание обращалось в первую очередь на имитацию взвешенного состояния частиц и их вертикального перемещения в составе гидротока. При размещении в пробирке образца почвы так, чтобы его поверхность была выше линии сердечников, слой магнитомягких или магнитотвердых частиц «закипает» как при магнитоожигении в переменном поле, но отдельные частицы постепенно перемещаются вниз (по градиенту поля). Однако между частицами все же наблюдается некоторое взаимодействие, что соответствует

состоянию золя. Таким образом, создается максимальное приближение к естественным условиям перемещения микро- и наночастиц в почве.

В первой серии экспериментов на почве выясняли эффективность прохождения наночастиц карбонильного железа в глубь образца под действием градиента попеременно включающихся полей электромагнитов. Частота магнитного поля – 40 Гц, напряженность – 150 Э. В опыте с сухим образцом с глубины 75–80 см порошок на его поверхности объединялся в легковибрирующие цепи или агрегаты, которые также перемещались по поверхности. Постепенно частицы проходили в глубь горизонта, заполняя пространства пор и трещин. Через ~30 с на поверхности образца практически не остается видимых агрегатов частиц, замечен лишь легкий «налет» из порошка. В следующем эксперименте образец почвы увлажняли, распыляя над ним 3 мл воды. В этом случае часть частиц погружалась на глубину 1–2 мм, тогда как остальные оставались на поверхности после 5 минут воздействия полем. Если же образец постепенно и обильно смочить, а затем полностью погрузить в воду, то частицы за единицы секунд покидают поверхность и проникают вглубь, заполняя все доступное свободное пространство (не замкнутые поры и трещины).

Во второй серии экспериментов на почве измеряли время, за которое магнитные частицы погружались в глубь образцов, отобранных из разных горизонтов в профиле (рис. 4).

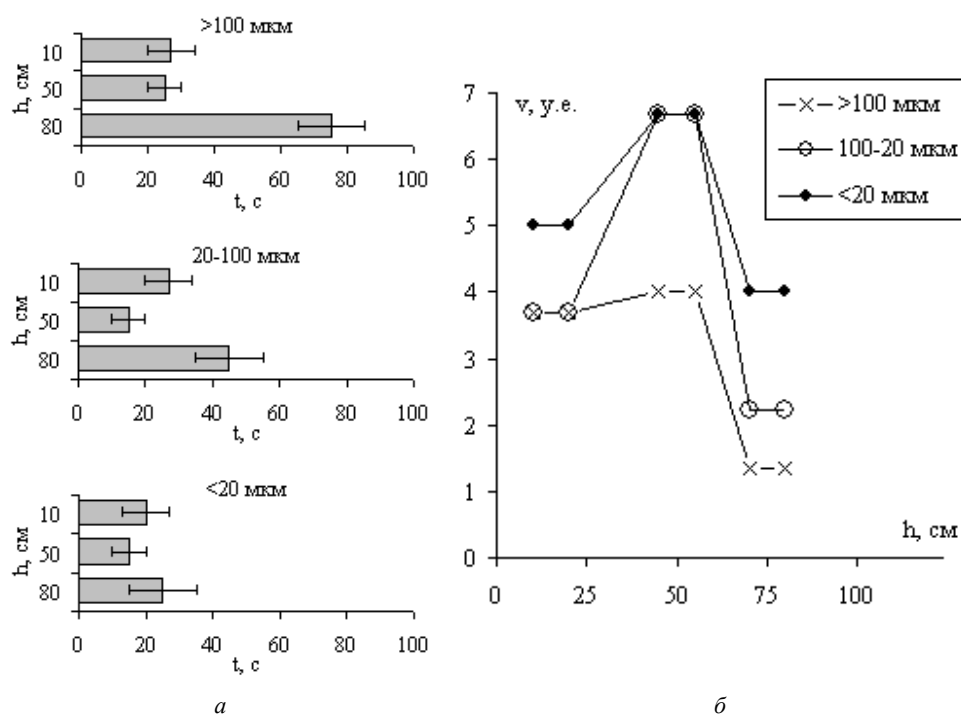


Рис. 4. Время погружения частиц  $Ni$  разных фракций в глубь почвенных образцов, отобранных на разной глубине (а). Относительная скорость вертикального перемещения частиц в почве в зависимости от глубины горизонта (б)

Как видно из рис. 4, а, частицам всех фракций требуется минимальное время для погружения в объем образцов, взятых с глубины 45–55 см, и максимальное – для образцов с глубины 70–80 см. При сравнении времени перемещения частиц разных фракций обнаруживаются явные отличия, особенно между частицами до 20 мкм и больше 100 мкм. При переводе времени в условные единицы скорости отчетливо виден характер ее изменения в зависимости от глубины горизонта (рис. 4, б). По всей видимости, выраженная нелинейность скорости перемещения частиц по профилю

отражает характер протекания процесса почвообразования и соответствует текстурной дифференциации почвы. Интересно также, что на глубине 45–55 см скорости прохождения частиц 5 нм – 20 мкм и 20–100 мкм выравниваются, что в экстраполяции на естественные условия может означать облегченную миграцию не только коллоидов, но и более крупных частиц и агрегатов в соответствующем генетическом горизонте.

## ВЫВОДЫ

Процесс механического перемещения наночастиц (карбонильное железо) четко отмечается в сухих образцах почвы. Однако он существенно ускоряется при значительном увлажнении, когда поры и другие свободные пространства заполнены водой. Если почва увлажнена до состояния, когда в поровых пространствах свободная вода отсутствует, процесс перемещения частиц крайне ограничен. Частицы слипаются с поверхностью пор. Перемещение происходит по образовавшемуся таким образом слою, в результате чего небольшая навеска частиц проникает лишь на глубину 1–2 мм.

Скорость вертикального перемещения частиц зависит от их размера, а также микро- и макроорганизации горизонтов почвенного профиля. В целом предложенная модель позволяет оценить относительную пропускную способность различных горизонтов в пределах профиля. Этот критерий – лишь чисто физическая характеристика, которая не дает однозначного ответа на вопрос о возможности лессиважных процессов. Высокая пропускная способность почвы является необходимым, хоть и не достаточным, условием для интенсивного механического транспорта микро- и наночастиц в глубь почвы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы // Н. А. Белова, А. П. Травлеев. – Д.: ДГУ, 1999. – 345 с.
- Дюшофур Ф.** Основы почвоведения. – М.: Прогресс, 1970. – 591 с.
- Нецветов М. В.** Вертикальное перемещение микрочастиц в почве под действием вибрации сверхнизких частот // Грунтознавство. – 2003. – Т. 4, № 1-2. – С. 62-65.
- Нецветов М. В.** Влияние вибраций 1-100 Гц на перемещение микрочастиц в почве // Грунтознавство. – 2006а. – Т. 7, № 3-4. – С. 92-96.
- Нецветов М. В.** Ліс, вітер та ґрунтоутворення / М. В. Нецветов, П. К. Хиженков // Вісник НТШ. – Т. 15. – Донецьк, 2006б. – С. 97-102.
- Травлеев А. П.** Микроморфология лессиважных процессов в байрачных лесных черноземах степной зоны Украины / А. П. Травлеев, Resio Epejo J. M., Н. А. Белова, Е. В. Кузнецов, А. К. Балалаев, В. Е. Кузнецов // Грунтознавство. – 2007. – Т. 8, № 1-2. – С. 1-24.
- Хиженков П. К.** О некоторых особенностях магнитооживления в переменных полях / П. К. Хиженков, В. М. Билобров, В. П. Фичичян // Магнитная гидродинамика. – 1989. – № 2. – С. 135-138.
- Хиженков П. К.** Саморассеивание и пространственная локализация магнитооживленного слоя 1-2 / П. К. Хиженков, И. М. Макмак, Г. И. Миронова // Магнитная гидродинамика. – 1996. – Т. 34., № 3. – С. 370-374.

*Надійшла до редколегії 17.10.07*