

Modelling microbiologically-driven soil structure formation from a human-environment perspective

¹N.A. Vasilyeva*, ^{1,4}A.A. Vladimirov, ²A.P. Smirnov, ²S.A. Matveev, ³E.E. Tyrtyshnikov

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

²Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University, Russian Federation

³Institute of Numerical Mathematics, Moscow, Russian Federation

⁴Join Institute for Nuclear Research, Dubna, Russian Federation

*nadezda.vasilyeva@gmail.com

Soil is a natural environment for food production that can suffer from pathogenic microorganisms due to their fast growth in degraded agricultural soils in contrast to normal soils. Soil degradation is reflected in its poor microbiological diversity which slows down fresh plant residues and fresh organic matter turnover. It leads to disruption of soil aggregate structure (compaction) and thus unoptimal air and water regimes. In this work we model soil aggregation processes in continuous feedback with organic matter cycle driven by microorganisms.

We aim to model soil physical structure differentiation with its depth on a macroscale (and other physical and chemical properties distributions) as a result of aggregate size distribution-dependent nutrients transport (such as oxygen, water, mineral and organic substrates) which influences microscopic biological processes in soil profile. On the other hand, biological processes change porous structure, carbon content and etc. within the whole profile and seriously affect diffusion coefficients creating extremely complex and interesting feedback between macro- and micro-scale.

Local part of mathematical model is formulated as a system of nonlinear ordinary differential equations, including chemical master equations for biological processes and coagulation/adsorption/adhesion kinetics and Smoluchowski type aggregation-fragmentation equations. The full self-consistent model describes possible mechanisms of feedback between the soil physical structure and rates of microbiological cycle and soil organic matter decay and aims to predict evolution of soil properties in conditions of external climate and anthropogenic stress.

This work was done with partial financial support by RFBR (16-04-01624).

Моделирование агроэкологических функций почвы: возникновение почвенной структуры за счет жизнедеятельности микроорганизмов

Н.А. Васильева¹, А.А. Владимиров^{1,4}, А.П. Смирнов², С.А. Матвеев², Е.Е. Тыртышников³

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва; ² Факультет вычислительной математики и кибернетики, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; ³Институт вычислительной математики, Москва; ⁴Объединенный институт ядерных исследований, Дубна
e-mail: nadezda.vasilyeva@gmail.com

Почвы являются естественной средой производства продуктов питания человека, которые могут страдать от патогенных микроорганизмов из-за их быстрого развития в деградированных сельскохозяйственных почвах по сравнению с нормальными почвами. Деградация почвы проявляется в снижении микробиологического разнообразия, из-за которого замедляется разложение растительных остатков и круговорот свежего органического вещества. Это приводит к разрушению агрегатной почвенной структуры (уплотнению) и, таким образом, неоптимальному воздушному и водному режимам. Данная работа посвящена моделированию процесса почвенной агрегации в непрерывной связи с микробиологически активизируемым циклом органического вещества.

Нашей целью является моделирование дифференциации физической почвенной структуры с глубиной на макро-масштабе (и других распределений физических и химических свойств) в результате зависящего от агрегатного состава почвы транспорта питательных веществ (таких как кислород, вода, минеральные и органические субстраты). В то же время, пористая структура, углеродный состав и другие свойства почвы эволюционируют вследствие микробиологических процессов, сильно изменяя транспортные параметры почвы. Таким образом, образуется сложнейшая обратная связь между макро и микро-уровнями рассматриваемой нами системы.

Локальная часть математической модели сформулирована в виде системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, включающих кинетические уравнения реакций для биологических процессов и коагуляции/адсорбции/адгезии и уравнения агрегации-фрагментации типа Смолуховского. Полная самосогласованная модель описывает механизмы взаимосвязи между почвенной структурой, скоростью микробиологического цикла, разложением органических веществ. Итоговой целью такого многомасштабного моделирования является прогнозирование изменений почвенных свойств при внешних климатических и антропогенных воздействиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (16-04-01624).