

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ СМЕНЫ РЕЖИМА ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА (ОВ)

Васильева Н.А.¹, Васильев Т.А.^{1,2}, Владимиров А.А.^{1,3}

¹*Почвенный институт им.В.В. Докучаева, Междисциплинарная лаборатория математического моделирования почвенных систем, Москва, Россия*
nadezda.vasilyeva@gmail.com

²*Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия*
tarasvasiliev44@gmail.com

³*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*
artem.a.vladimirov@gmail.com

Аннотация: Предложен подход для мониторинга трансформации качества ОВ через последовательное моделирование таких физических свойств почвы как плотность, основная гидрофизическая характеристика и потенциал разуплотнения почвы. В настоящем подходе анализ динамики неявно введенной в модель зависимости физических свойств от качества ОВ может позволить понять направление процессов его трансформации.

1. Введение

В агроэкосистемах состояние и направленность процессов зависит не только от климата, но и даже в большей степени, от антропогенной нагрузки на плодородие почвы (меняющей продукционный процесс). При этом физические и химические показатели не взаимообусловлены микробоценозом, они изменяются быстрее, чем в естественной среде (рыхление и давление от многочисленных проходов техники, орошение, внесение химических удобрений и мелиорантов). В этом случае микробоценоз уже не является двигателем процессов, а скорее приспосабливается к быстроменяющимся условиям. Таким образом, в с/х случае для моделирования интегральных почвенных характеристик недостаточно информации о начальном состоянии почвы, а дополнительно требуется мониторинг изменений физических и химических показателей, претерпевающих быструю вынужденную динамику. Если такие показатели как температура, объемная влажность, электропроводность, твердость почвы и погодные условия легко получить посредством мобильных сенсоров, то для возможности мониторинга других более сложных показателей, таких как плотность почвы, удельная поверхность, ОГХ, влагопроводящие свойства и содержание различных веществ, нужны математические модели регрессионного типа (экспресс-методы измерения) с использованием данных сенсоров, других просто определяемых динамических свойств (НВ, ПВ, воздухопроницаемость, реологические пределы) и стабильных (или меняющихся редко в результате периодических воздействий) свойств почвы (таких как элемент рельефа, плотность твердой фазы, гранулометрический состав, валовые содержания элементов). Например, фотометрическое определение гидрофобности и степени ароматичности или гумификации ОВ с калибровкой по ИК-спектрам соответствующих хроматографических фракций. В целом, динамика физико-химических свойств почвы может служить показателем скорости и направленности процессов изменяющих факторы плодородия при текущей системе земледелия. Например, разложение ОВ изменяет сорбционные свойства поверхности органо-минеральных почвенных частиц, которые определяют буферную емкость питательных элементов и скорость их высвобождения, каталитическую активность ферментов и экологический защитный потенциал в отношении токсичных веществ. Поэтому, моделирование динамики свойств поверхности почвенных частиц, изотермы сорбции, почвенной ОГХ, может позволить понять направление процессов трансформации ОВ (приближение к критической точке начала деградации или его восстановление), направление изменений в

водоудерживающей способности, водопроницаемости и водопрочности агрегатной структуры – важнейших свойствах, обеспечивающих оптимальную плотность и воздухоносную пористость для развития корней. Эти факторы являются факторами плодородия и их динамика очень информативна. Моделирование зависящей от них, в свою очередь, динамики почвенного дыхания, как связующего разные блоки системы процесса, позволяет получать временные серии с различными сценариями климатического, погодного и антропогенного воздействия для разработки системы раннего обнаружения признаков смены режимов функционирования всей экосистемы.

2. Моделирование потенциала разуплотнения для оценки изменения качества ОВ

Динамика плотности является одним из критических факторов состояния (плодородия, продуктивности, устойчивости). Мы предлагаем подход для получения информации об изменении качества ОВ внутри физических фракций через мониторинг такой интегральной характеристики физико-химических свойств почвы как потенциал разуплотнения (ПР). В частности, **мы предлагаем модель ПР с использованием мониторинговых данных физических свойств почвы**. Разработка модели включает: i) моделирование плотности почвы как функции профилей температуры, влажности, сопротивления пенетрации (твердости), воздухопроницаемости и водоустойчивости, а также общего содержания органического углерода (измеряемого по плану агрохимического обследования в хозяйствах каждые 3-5 лет). Для разработки модели решается обратная задача теплопроводности для пористой многослойной среды с периодическими граничными условиями, с дальнейшим выявлением корреляций между полученным профилем коэффициентов температуропроводности с плотностью почвы и вышеперечисленными свойствами; ii) моделирования основной гидрофизической характеристики (ОГХ) как функции плотности, удельной поверхности и кинетики иссушения почвы при нагревании с параметризацией прямыми измерениями ОГХ почвы методами тензиометров и сорбции паров воды. ОГХ само по себе имеет прямое применение для расчета запасов продуктивной влаги и перераспределения влаги в почве; iii) далее, моделирование ПР как функции ОГХ с параметризацией по кинетике набухания-усадки почвы. Таким образом, **получаемая модель ПР** неявно содержит качество ОВ в своих коэффициентах корреляции ОГХ с водостойкостью структуры, удельной поверхностью, кинетикой иссушения и набухания-усадки. Сравнение величин ПР с типовым диапазоном для конкретного типа почвы может давать сигнал об изменении физического состояния – о приближении состояния критического уплотнения почвы. Характерное время разуплотнения является информативным параметром мониторинга и может служить для оценки необходимой длины/структуры севооборота, чтобы не допустить критического уплотнения почвы. С другой стороны сравнение моделируемого ПР с прямым его вычислением по результату кинетики набухания-усадки в случае их расхождения (т.е. необходимости перепараметризации модели ОГХ) дает информацию об изменении коэффициентов, отвечающих за качество ОВ и их динамику. Для разработки данного подхода мониторинга трансформации качества ОВ мы использовали серии данных по профилям температуры, влажности, водопроницаемости, плотности и многие другие свойства таких контрастных вариантов почв как целинный чернозем и чернозем многолетнего эксперимента бессменного чистого пара (с 1947, в качестве экстремального варианта деградации почвенных свойств в результате антропогенной нагрузки) в Центрально-Чернозёмном государственном природном биосферном заповеднике имени В. В. Алёхина.

Работа выполнена при поддержке фонда NordForsk в рамках проекта нордик-русского сотрудничества TerMARisk № 81513.