

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ТИПИЧНЫХ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ КАК ПЕРВЫЙ ЭТАП СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ СЦЕНАРИЕВ ОЦЕНКИ РИСКА ПЕСТИЦИДОВ

А.А. Кокорева^{1), 2)}, Н.В. Клебанович³⁾, В.Н. Колупаева²⁾,
М.А. Никитина^{1), 2)}

¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, email: kokoreva.a@gmail.com

²⁾ ФГБОУ ВО «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ВНИИФ), Россия, 143050, Московская область,

Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5

³⁾ Белорусский государственный университет (БГУ), 220030, Минск, ул. Ленинградская, 16

В оценке риска при прохождении процедуры государственной регистрации пестицидами и агрохимикатами математические модели используются для расчет прогнозных концентраций веществ в объектах окружающей среды (почва, грунтовые и поверхностные воды, воздух). Процесс адаптации и настройки почвенной части математических моделей перед внедрением ее в национальный регистрационный процесс весьма долгая и дорогая процедура, предусматривающая калибровку водного блока моделей по результатам мониторинга влажности реальных почв. Для территории республики Беларусь выбраны эталонные разрезы наиболее распространенных сельскохозяйственных почв, проведено послойное исследование физических свойств. Выполнена параметризация модели PEARL с использованием рассчитанных (SRMSE=0,6 и выше) и экспериментально определенных ОГХ (SRMSE=0,3-0,6). Калибровка с учетом особенностей каждого эталонного профиля позволила снизить ошибки прогноза до SRMSE=0,1-0,2 на протяжении большей части вегетационного сезона.

Ключевые слова: динамическая модель; основная гидрофизическая характеристика; коэффициент фильтрации; педотрансферные функции; граничные условия; экспериментальное обеспечение модели.

На сегодняшний день количество применяемых в сельском хозяйстве средств защиты растений растет год от года. По данным Россельхозцентра в 2019 г. было использовано 68,07 тыс. тонн [1]. Остатки пестицидов и удобрений по данным мониторинга, проводимого Гидрометцентром, находят в высоких концентрациях, свыше принятого в ЕС порогового значения 0,1 мкг/л [2, 3]. Для прогноза вымывания пестицидов из почвы используются преимущественно потоковые модели (PEARL, MACRO, HYDRUS) в

совокупности с национальными стандартными сценариями (совокупность параметров почвенного экспериментального обеспечения, климатических условий так, же агроэкономические факторы, которые характеризуют определенный сельскохозяйственный регион).

Для создания национальных сценариев для Республики Беларусь были выбраны четыре почвы на уровне разновидностей (Минская область): агро-дерновоподзолистая типичная род ненасыщенная (основная) глубоко пахотная среднесуглинистая на покровных суглинках, торфянозем, торфяно-окисленный-глеевый глубоко пахотный на озерных отложениях (осушенный), агро-дерновоподзол литобарьерный ненасыщенный глубоко пахотный, супесчаный на флювиогляциальных отложениях подстилаемой мореной, агро-дерновоподзол иллювиально-железистый глубоко пахотный, песчаный на флювиогляциальных отложениях.

По классификации USDA почвы попадают в текстурный класс Sandy loam (опесчаненный суглинок) за исключением горизонта G разреза 2 с повышенным содержанием фракции silt (0,002–0,05 мм), равным 83,2 % (Silt (пыль), пылеватая глина), и горизонта C разреза 4 с более высоким содержанием фракции sand (0,05–1,0 мм), равным 77,36 %.

Первый разрез с 30 см слабо дифференцирован по плотности. Глубина пахоты в Республике Беларусь достигает 40 см, затем на нижней границе формируется плужная подошва, характерная для всех пахотных почв (плотность на глубине 40 см – 1,5 г/см³ при 0,8 г/см³ в верхних слоях). Легкие почвы имеют дифференцированность в верхней толще, в этом случае пахотные горизонты обеих почв рыхлые в верхней части, а для полу-гидроморфных почв даже излишне рыхлые – 1,1 г/см³.

Органический углерод в торфяных слоях разреза 2 достигает 35 %. В профиле 1, 3, 4 минеральных почв содержание углерода в пахотных горизонтах не превышает 3 %.

Для прогноза вымывания пестицидов из почв в целях оценки риска необходимо использовать в качестве условий на верхней границе метеопараметры, соответствующие годам с низкой обеспеченностью осадками и низкими температурами. В этом случае будут соблюдаться условия сценария «наихудшего случая» (worst case) для оценки поведения ядохимикатов в экстремальных погодных условиях [3]. Ежесуточные данные метеорологической станции государственной сети наблюдений Белгидромета были взяты из открытого источника.

Водный режим за вегетационный сезон 2022 г. для всех исследованных почв имеет особенности, связанные с морфологическим строением, физическими свойствами, а также положением в рельефе. Отмеченные ниже особенности необходимо учитывать при параметризации калибровки модели:

Агро-дерновоподзолистая почва находится в автоморфной позиции. Профиль хорошо увлажнен в осеннее и весеннее время, однако в наиболее жаркий и сухой период (середина июля) наблюдается крайнее иссушение профиля. Это вызвано активным испарением влаги в результате роста и развития злаковой растительности.

Торфянозем хорошо увлажнен в начале года, после снеготаяния, а затем происходит постепенное стекание влаги и ее аккумуляция в середине профиля (что связано с высокими влагосохраняющими свойствами торфа).

Агро-дерновоподзол автоморфный наоборот имеет низкие запасы влаги весной в верхней части профиля, а в летнее время наблюдаются длительные засушливые периоды, вызванные провальными значениями коэффициента фильтрации, излишней рыхлостью пахотного горизонта, низкой влагоудерживающей способностью. Наоборот, полугидроморфная почва западины в течении всего вегетационного сезона имеет достаточное для растений количество влаги в верхней части профиля, что может быть связано с дополнительным увлажнением ввиду стекания осадков с вышележащих отметок рельефа.

Первичная параметризация модели PEARL включала введение данных о плотности почвы, содержания органического вещества, pH, гранулометрического состава. Эти данные получены экспериментально и в основном описывают передвижение пестицида в профиле. Основное физическое обеспечение для прогноза водного режима – ОГХ. С использованием классических ПТФ на основе гранулометрического состава и плотности получены параметры аппроксимации ОГХ для каждого слоя почвы. Прогноз проводился для 10-летнего периода и начинался в 2013 году для, поскольку хорошей практикой по работе моделей считается ее прогон в течение несколько месяцев или лет до моделирования выбранного периода с целью уравнивания модели относительно содержания воды в профиле. В результате прогноза расчетные влажности значительно не соответствовали экспериментальным. Модель завышала влажность на 20 и более объемных процентов, а среднеквадратическая нормированная ошибка SRMSE достигала 0,3, что слишком много для прогноза влажности.

В случае отсутствия экспериментальных данных модель возможно калибровать по данным мониторинга влажности отталкиваясь от рассчитанных параметров аппроксимации. Однако, предпочтительно использовать экспериментальные данные для ориентирования на более достоверные значения полной влагоемкости, которые не должны корректироваться значительно. При использовании экспериментальных ОГХ значительные ошибки до 20 % объемной влажности наблюдались в средней части профиля. Калибровка затронула три параметра: коэффициент фильтрации, n и альфа. Остальные параметры корректировались незначительно. При этом

удалось снизить абсолютную ошибку влажности до 1–5 % и нормированную среднеквадратическую ошибку до 0,2. Отдельная проблема калибровки состояла в задании растительности, поскольку для стран СНГ нет исследований, касающихся блока растение-почва-атмосфера. Введение зерновой культуры и калибровка параметров развития, таких как глубина и объем корневой системы, параметры развития надземной части растения, позволило адекватно отразить особо засушливую часть на хроноизоплетах влажности в июльский засушливый и жаркий период.

Наибольшие вопросы параметризации вызывал разрез торфянозема. Для торфов нет удачных и доступных ПТФ. В мировой практике имеются отдельные разработки таких расчетных уравнений (Miaogun Wang, Naojie Liu, Bernd Lennartz, 2021), однако опыт их использования оказался неудачным. Поэтому для органогенных горизонтов альтернативы полученным экспериментальным кривым ОГХ не существует, что повышает ценность отработки стандартных сценариев влажности в данной почве. Необходимо отметить, что даже без калибровки модель с большими ошибками отражала водный режим после периода снеготаяния (SRMSE=0,6), однако в ранневесенний период и во время осенних дождей ошибка составляла SRMSE 0,2–0,3. Калибровка с увеличением влагопроводящих свойств верхней части профиля и влагозапасающих свойств нижней части снизила ошибку прогноза в вегетационный сезон (SRMSE=0,1–0,3) верхней толщи профиля, но привело к значительным ошибкам в минеральном глеевом горизонте (переоценка влажности, SRMSE 0,4–0,6). Вероятнее всего, невозможность задать дренаж в сценарии приводит к необходимости излишней корректировки параметров аппроксимации ОГХ.

Агро-дерновоподзол автоморфный имел наименьшие ошибки прогноза при экспериментальных параметрах ОГХ (SRMSE=0,1–0,3), которые при калибровке, учитывающей изменение влагоудерживающих и влагопроводящих свойств из-за присутствия гравия в почве, снизились до SRMSE=0,1–0,2.

При калибровке параметров для агро-дерновоподзола полугидроморфного калибровка хорошо работает в летний период. Но при поступлении в профиль талых вод экспериментальные данные по влажности намного выше прогнозных. С большой долей вероятности это связано с мезорельефом, в западину поступают большие объемы талых вод с автоморфных отметок. Специальной функции в модели для задания поверхностного стока не предусмотрено, кроме условия на верхней границе, соответствующего образованию слоя воды на поверхности почвы без стекания (Max ponding depth), что, однако, не может компенсировать дополнительный приток воды помимо прямых осадков. Поэтому при общих низких ошибках в течение вегетационного сезона до SRMSE=0,1–0,2 в период

снеготаяния наблюдаются рекордно высокие ошибки прогноза до SRMSE=0,6.

Итоговые стандартные сценарии для модели PEARL территории Республики Беларусь включают:

1. Верхняя граница – метеорологические данные (осадки, температура, радиация, скорость ветра, влажность. Эвапотранспирация рассчитывается по уравнению Пенмана).

2. Нижняя граница – свободный дренаж.

3. Экспериментальные послойные данные (ОГХ, определенные тензиометрически, с получением параметров аппроксимации уравнением Ван-Генухтена. Плотность почвы. Гранулометрический состав. Содержание органического вещества. Калибровку проводили по значениям коэффициента фильтрации, параметрам аппроксимации ОГХ (n и α)).

4. Включен растительный блок.

Библиографические ссылки

1. *Говоров Д. Н., Живых А. В., Шабельникова А. А.* Применение пестицидов. Год 2019-й. Защита и карантин растений. № 7. Год 2020. С. 7–8.

2. *Kolupaeva V. N., Kokoreva A. A., Belik A. A., Pletenev P. A.* Study of the behavior of the new insecticide cyantraniliprole in large lysimeters of the Moscow State University. Open Agriculture, Walter de Gruyter (Berlin, Germany), 2019, b 4, № 1. P. 599–607.

3. *Kolupaeva V., Kokoreva A., Bondareva T.* The study of metribuzin migration in lysimeters. E3S Web of Conferences, EDP Sciences (France), 2020, b 175. P. 1–6.