

УДК 551.579

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ, ИЗМЕРЕННЫХ ДВУМЯ БЛИЗЛЕЖАЩИМИ МЕТЕОСТАНЦИЯМИ, ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ИХ ДИСКРЕТНОСТИ НА МОДЕЛЬНУЮ ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ

А.В. Кожунов¹

¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, avkozhunov@mail.ru

Аннотация: исследованы характер влияния метеопараметров при различной степени осреднения (суточные, декадные, месячные), измеренных двумя близлежащими метеостанциями за 2-летний и 1-летний периоды и вводимых в модель HYDRUS-1D, на изменение модельной влажности почвы во времени, а также на характер различий между модельной и измеренной / интерполированной влажностью почвы на глубинах 10 – 100 см при условии ввода в HYDRUS-1D значений уровня грунтовых вод за весь период моделирования.

Ключевые слова: HYDRUS-1D; подотрансферные функции; суточные, декадные, месячные метеопараметры; измеренная и интерполированная влажность почвы; осреднение метеоданных; полная влагоёмкость почвы.

Актуальность. Понимание процессов, влияющих на пространственное и временное распределение влажности почвы, имеет огромное значение [1]. При моделировании влажности почвы в различных слоях почвенного профиля и изменения влажности почвы во времени необходимо учитывать влияние на неё метеорологических параметров. Ввод в модель влагопереноса в почве значений метеопараметров, измеренных на соседних метеостанциях, даже расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, может существенно повлиять на итоговые значения и саму динамику модельной влажности почвы, а также на характер изменения модельной влажности относительно фактической влажности почвы. Особенно это актуально для верхней части почвенного профиля, поскольку верхние горизонты почвы в наибольшей степени подвержены влиянию динамично меняющихся погодных условий.

Кроме того, на величину модельной влажности почвы должна влиять дискретность вводимых в модель значений метеорологических параметров. Теоретически осреднение измеренных величин метеорологических элементов должно приводить к ухудшению точности моделирования влажности почвы,

что должно отражаться в виде ухудшения согласованности динамик модельной и фактической влажности почвы.

Обсуждение результатов. Объектом исследования является дерново-подзолистая рыхлопесчаная почва, расположенная в зоне избыточного увлажнения, в центральной части агроэкологического полигона Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ) в пос. Эммаусс Тверской области [2].

Предметом исследования является сравнительная качественная и количественная оценка характера влияния на величины и динамику модельной влажности почвы, а также на характер расхождения между модельной и измеренной/интерполированной влажностью почвы метеорологических параметров, измеренных автоматической метеостанцией ATMOS 41, расположенной на агрополигоне ВНИИМЗ, а также метеопараметров, измеренных на ближайшей к агрополигону (в 4 км северо-западнее) ведомственной (Росгидромет) метеостанции Тверь, при вводе их в модель влагопереноса в почве HYDRUS-1D с различной степенью осреднения (суточные, декадные, месячные). Периоды моделирования составляли 2 года (730 суток) при использовании метеоданных по м/с Тверь и 1 год (точнее, 370 суток) при использовании метеоданных по обеим метеостанциям.

Для моделирования динамики влажности почвы использовалась модель HYDRUS-1D, которая является одномерной конечно-элементной прогнозной моделью для численного моделирования одномерного переноса воды, тепла и растворённых веществ в многофазных переменнно насыщенных пористых средах [3, 4]. Данная модель была разработана в США Дж. Шимунеком, М.Т. ван Генухтенем и М. Шейна.

Вблизи точки исследования влагопереноса в почве и распределения влажности почвы по глубинам (точка 4 агрополигона) была установлена автоматическая метеостанция ATMOS 41. А в самой точке исследования, из которой проводился отбор почвенных образцов, были также установлены датчики влажности почвы в пределах метрового слоя почвы через каждые 10 см. Влажность почвы определялась в дни измерения уровня грунтовых вод (УГВ).

Параметры экспериментального обеспечения модели, т.е. параметры функции ван Генухтена – Муалема и коэффициент фильтрации, были рассчитаны с помощью алгоритма искусственной нейронных сетей через педотрансферные функции (ПТФ) в программе RETC, встроенной в модель HYDRUS-1D. Для этого в программу RETC вводились процентное содержание песка, пыли и глины, а также плотность каждого из 11 слоёв почвы толщиной 10 см, образцы

которой были отобраны в точке 4, находящейся в центральной части агрополигона ВНИИМЗ, и у этих образцов почвы были определены гранулометрический состав методом лазерной дифракции [5], а также плотность. Программа RETC использует базу данных для ПТФ (Rosetta Lite v. 1.1).

Параметры основной гидрофизической характеристики (ОГХ) и коэффициент фильтрации (K_s) каждого слоя почвы были рассчитаны программой RETC с помощью функции ван Генухтена – Муалема:

$$\theta = \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha P_{k-c})^n)^m} + \theta_r; P_{k-c} < 0, m = 1 - 1/n \quad (1)$$

$$K_{вл} = K_s S_e^{1/2} [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2; m = 1 - 1/n; n > 1 \quad (2)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (\alpha P_{k-c})^n]^m}, P_{k-c} < 0; m = 1 - 1/n \quad (3)$$

где P_{k-c} – капиллярно-сорбционное давление почвенной влаги (кПа или гПа);

θ_s – влажность полного насыщения. Близка к полной влагоёмкости почвы;

θ_r – остаточная влажность почвы, соответствующая влажности точки перегиба в сорбционной области;

α – величина, обратная капиллярно-сорбционному давлению, близкому к давлению входа воздуха (1/кПа или 1/гПа);

n – крутизна кривой аппроксимации ОГХ, характеризующая распределение пор по размерам;

K_s – коэффициент фильтрации (см/сут);

S_e – степень насыщения почвы влагой ($0 \leq S_e \leq 1$). [6, 2]

Из метеопараметров в HYDRUS-1D вводились: количество осадков в сантиметрах (суточное, декадное или месячное); облачность в баллах, если метеоданные вводились с метеостанции Тверь; суммарная солнечная радиация (в МДж/м²), если вводились метеоданные по метеостанции ATMOS 41 (суточная, средняя за декаду или за месяц); максимальная и минимальная температуры воздуха (°С) и относительная влажность воздуха (%); скорость ветра на высоте её измерения в км/сут [7]. При вводе метеопараметров с м/с Тверь высота измерения скорости ветра указывалась равной 1000 см, поскольку на метеостанциях наблюдательной сети Росгидромета ветер измеряется на высоте 10–12 м над поверхностью земли. Когда вводились метеоданные с автоматической метеостанции ATMOS 41, высота измерения скорости ветра составляла 200 см, поскольку датчик температуры воздуха у данной метеостанции располагается на высоте 2 м над поверхностью земли.

Верхним граничным условием (ВГУ) в HYDRUS-1D было выбрано «Атмосферное граничное условие с поверхностным стоком». Данное условие предполагает, что часть выпавших осадков стекает по поверхности почвы [7,8].

Нижним граничным условием (НГУ) было выбрано условие переменного напора. В рамках данного условия в HYDRUS-1D вводились значения УГВ за весь период моделирования. Недостающие значения УГВ были получены методом линейной интерполяции между измеренными значениями УГВ.

Для сравнения динамик модельной и фактической/интерполированной влажности почвы при различной дискретности метеопараметров были использованы значения объёмной влажности почвы на глубинах 10–100 см, измеренные по электронным датчикам влажности почвы в точке 4 агрополигона ВНИИМЗ, а также интерполированные значения объёмной влажности. Динамики влажностей почвы сравнивались при использовании метеопараметров с м/с Тверь за 2 года (730 суток) – с 9 апреля 2021 г. по 8 апреля 2023 г. и за 1 год, точнее за 370 суток – с 1 августа 2022 г. по 5 августа 2023 г. При применении метеоданных с м/с ATMOS 41 динамики влажностей почвы сравнивались только за 370 суток. Выбор таких временных периодов был обусловлен тем, что данные по УГВ имеются с 9 апреля 2021 г. и метеоданные с метеостанции Тверь имеются на эту дату, в то время как измерение метеопараметров метеостанцией ATMOS 41 началось только 23 июля 2022 г.

При ежесуточных метеоданных модельная влажность почвы сравнивалась с фактической в дни измерения УГВ в точке 4 и с интерполированной (реже с фактической) влажностью – в последние дни декад. Поскольку большая часть данных о влажности почвы в последние дни декад отсутствует ввиду того, что в эти дни в большинстве случаев не проводилось измерений по датчикам влажности почвы, эти данные были получены методом линейной интерполяции между измеренными величинами влажности почвы.

При среднедекадных и среднемесечных метеоданных, вводимых в HYDRUS-1D, модельная влажность почвы сравнивалась с интерполированной влажностью в последние дни декад и месяцев. Поскольку большая часть значений влагосодержания почвы в последние дни декад и месяцев отсутствует по причине того, что в данные дни не проводилось измерений по почвенным влагомерам, то влажность почвы за эти дни была посчитана также методом линейной интерполяции между измеренными значениями влажности почвы.

Сравнение динамик модельных влажностей почвы за 2-летний период, полученных на последние дни декад в результате ввода в модель ежесуточных, а затем среднедекадных метеопараметров с м/с Тверь, показало, что в результате осреднения метеопараметров модельная влажность почвы возрастает и отдаляется от измеренной/интерполированной влажности на глубинах 10–70 см в течение всего модельного периода. На 80 и 90 см

модельная влажность почвы отдалается от фактической/интерполированной влажности в течение большей части первого года (1–310/330 сутки) и большей части второго года (490–710/690 сутки), а в середине (310/330–490 сутки) и в конце 2-летнего периода (710/690–730 сутки) – наоборот, приближается к интерполированной влажности. На 100 см модельная влажность при осреднении метеовеличин приближается к измеренной/интерполированной влажности не только в середине (230–470 сутки), но и в последней трети 2-летнего периода (610–730 сутки), а при нахождении модельной почвы в состоянии полной влагоёмкости (ПВ) влажность её не меняется, находясь близко к измеренной/интерполированной влажности. Почва не достигает полного насыщения на глубинах 10–50 см ни при суточных, ни при декадных метеопараметрах (лишь на 40 см при декадных метеоданных модельная почва только один раз достигает близкого к ПВ состояния – на 540-е сутки). На 60 см модельная влажность при ежедневных метеоданных достигает близкого к ПВ состояния также только 1 раз – на 540-е сутки, а при декадных метеоданных – достигает уровня ПВ и близкого к нему в первый и второй год, но на довольно короткое время (11–12 суток). На 70–100 см модельная почва и при ежедневных, и при декадных метеоданных достигает полного насыщения в первый и во второй год, но при среднедекадных метеоданных она находится в состоянии ПВ более длительное время. С ростом глубины длительность нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и близком к нему также возрастает: при суточных метеоданных – от 11 до 111 суток, при декадных метеоданных – от 41 до 121 суток (таблица 1).

Таблица 1

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей почвы $\leq 1\%$) при различной дискретности метеоданных с м/с Тверь за 1 и 2 год (в скобках) периода моделирования.

Глубина, см	Суточные данные	Декадные данные	Месячные данные
10	0	0	1
20	0	0	0
30	0	0	1
40	0	1	1
50	0	0	0
60	1	11 (11)	32 (62)
70	11 (11)	41 (51)	62 (93)
80	41 (91)	71 (111)	62 (93)
90	71 (101)	81 (111)	62 (93)
100	81 (111)	91 (121)	93 (153)

При применении среднемесячных метеоданных по м/с Тверь модельная влажность вновь увеличивается, по сравнению с вводом в модель среднедекадных метеоданных, и отдалается от измеренной/интерполированной влажности уже не только на 10–70 см, но и на 80 и 90 см, за исключением конца первого года (365-е сутки) на глубине 90 см, где она почти совпадает с измеренной влажностью почвы. На 100 см модельная влажность становится близка к интерполированной влажности на протяжении большей части 2-летнего периода. На 10 см модельная почва достигает состояния, близкого к ПВ, только 1 раз; на 30 и 40 см влажность почвы достигает ПВ также только 1 раз; на 20 и 50 см почва не достигает насыщения. На 60, 70 и 100 см влажность почвы держится на уровне ПВ или близком к нему дольше, чем при декадных метеовеличинах. На 80 и 90 см длительность нахождения почвы в состоянии ПВ немного меньшая, чем при декадных метеоданных, видимо, вследствие большей сглаженности графиков модельной влажности почвы. С ростом глубины период нахождения модельной почвы в состояниях ПВ и близком к нему в целом увеличивается.

При вводе в модель суточных метеоданных за 1-летний период с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке модельных влажностей почвы в дни измерения УГВ выяснилось, что использование метеопараметров с м/с ATMOS 41 приводит к некоторому увеличению модельной влажности в первой половине и в конце исследуемого периода на глубинах 10–70 см, по сравнению с применением метеоданных с м/с Тверь, а на 80 см – ближе к середине модельного периода. Однако количество близких значений (и даже совпадений) модельной и измеренной влажности при использовании метеоданных с м/с ATMOS 41 больше, чем при вводе в модель метеозначений с м/с Тверь – это характерно для глубин 20–50 и 80 см. Для 10 см ситуация обратная — близких значений модельной и измеренной влажности больше при применении метеовеличин с м/с Тверь. На 60 и 70 см модельная влажность отдалается от измеренной при вводе метеоданных с ATMOS 41. На 90 см модельная влажность меняется крайне слабо при смене вводимых в модель метеоданных и только в первой половине расчётного периода, хотя она слегка возрастает и приближается к фактической влажности. А вот на 100 см – практически не меняется при смене вводимых в модель метеоданных. На глубинах 10–50 см модельная почва не достигает насыщения, тогда как на 60–100 см влажность почвы достигает уровня ПВ или близкого к нему в первой половине модельного периода – при вводе метеоданных с обеих метеостанций. Причём с ростом

глубины период нахождения почвы в состоянии полного насыщения увеличивается – с 8 дней на 60 см до 113 дней на 90 и 100 см (таблица 2).

Аналогичные выводы получаются и при сравнении как модельных влажностей почвы между собой, так и значений модельной и измеренной/интерполированной влажности в последние дни декад при сохранении суточной дискретизации метеоданных. Однако в этом случае длительность нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему возрастает и меняется от 11 суток на 60 см до 111 суток на 100 см – при вводе в модель метеовеличин с обеих метеостанций (таблица 2).

В результате ввода декадных метеоданных за 1-летний период модельная влажность почвы в последние дни декад на всех 10 глубинах почвенного профиля при применении метеоданных по м/с ATMOS 41, наоборот, оказалась немного ниже модельной влажности, полученной после ввода метеоданных с м/с Тверь. При этом наблюдается больше близких значений (и совпадений) между модельной и интерполированной влажностью на глубинах 10–90 см при вводе метеозначений с м/с ATMOS 41, чем с м/с Тверь.

Таблица 2

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей почвы $\leq 1\%$) при применении суточных метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке динамик влажности почвы в дни измерения УГВ и в последние дни декад.

Глубина, см	В дни измерения УГВ		В последние дни декад	
	м/с Тверь	м/с ATMOS 41	м/с Тверь	м/с ATMOS 41
10 - 50	0	0	0	0
60	8	8	11	11
70	26	30	31	31
80	95	95	91	101
90	113	113	101	101
100	113	113	111	111

Для 100 см ситуация иная — близких значений модельной и интерполированной влажности больше при применении метеопараметров с м/с Тверь, а при введении метеовеличин с м/с ATMOS 41 модельная влажность отдалается от интерполированной, становясь немного ниже. На глубинах 10–50 см модельная влажность не достигает уровня ПВ или близкого к нему. На 60–100 см влажность почвы достигает величины ПВ и близкой к нему в первой трети расчётного периода. Причём с ростом глубины длительность нахождения

модельной почвы в состоянии ПВ увеличивается – от 11 суток на 60 см до 101 суток на 100 см (таблица 3).

При использовании месячных метеоданных за 1-летний период модельная влажность, полученная на последние дни месяцев, оказывается ниже также при вводе метеоданных с м/с ATMOS 41 на всех 10 глубинах профиля почвы. При этом она приближается к интерполированной влажности на глубинах 10–90 см. Однако разница между влажностями почвы довольно высока – от 5 до 23 %, особенно на 10–70 см (на 60 см – до 25 %). На 80 и 90 см эта разница ниже – до 10–13 %. А вот на 100 см модельная влажность наиболее близка к интерполированной (максимальная разница между ними составляет 6 %), хотя при вводе метеопараметров с м/с ATMOS 41 несколько отдалается от последней в меньшую сторону. Модельная почва достигает состояния ПВ при вводе метеозначений с м/с Тверь на 30 и 40 см по 1 разу – на 61-е сутки и на 60–100 см 2 раза – в течение первой трети и в конце годового периода. На 10, 20 и 50 см модельная почва не достигает ПВ, лишь на 10 см достигая близкой к ней величины (на 61-е сутки).

Таблица 3

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и близком к нему (различие влажностей $\leq 1\%$) при применении декадных метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке динамик влажности почвы в последние дни декад.

Глубина, см	м/с Тверь	м/с ATMOS 41
10 - 50	0	0
60	11	11
70	41	31
80	91	91
90	101	101
100	101	101

При вводе метеовеличин с ATMOS 41, модельная влажность достигает величины ПВ на 40 см (1 раз – на 61-е сутки) и на 60–100 см (2 раза – в течение первой трети и в конце расчётного периода), а на 30 см модельная почва достигает близкого к насыщению состояния лишь 1 раз – на 61-е сутки. На 10, 20 и 50 см модельная почва не достигает насыщения. С увеличением глубины продолжительность нахождения почвы в состоянии полной влагоёмкости или близком к нему в целом растёт (таблица 4).

При осреднении метеоданных по м/с Тверь за декаду и далее за месяц модельная влажность возрастает, и если при суточных метеоданных она была

ниже или примерно равна фактической влажности на глубинах 10–50 и 80 см в течение большей части расчётного периода, то с дальнейшим осреднением метеоданных она становится выше фактической / интерполированной влажности практически весь модельный период. На 60 и 70 см более высокая модельная влажность по сравнению с фактической увеличивается ещё сильнее. На 90 см модельная влажность, будучи ниже фактической при ежедневных метеоданных, после их осреднения за декаду приближается к интерполированной влажности, и значения обеих влажностей почвы отличаются ненамного в течение большей части модельного периода, а при осреднении метеоданных за месяц модельная влажность становится выше интерполированной. А вот на 100 см модельная влажность, которая также ниже фактической влажности при суточных метеоданных, в результате осреднения последних всё более приближается к интерполированной влажности.

Таблица 4

Период (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей $\leq 1\%$) при использовании месячных метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке динамик влажности почвы в последние дни месяцев.

Глубина, см	м/с Тверь	м/с ATMOS 41
10	1	0
20	0	0
30	1	1
40	1	1
50	0	0
60	33	33
70	63	33
80	63	63
90	63	63
100	124	124

В целом при осреднении метеопараметров изменение модельной влажности почвы во времени хуже согласуется с ходом измеренной/интерполированной влажности почвы. Период нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему при осреднении метеовеличин, измеренных на м/с Тверь, возрастает на 60–100 см. На 10–50 см модельная влажность не достигает величины ПВ или близкой к ней при суточных и декадных метеоданных. Достигает модельная почва этого уровня лишь при месячных метеоданных 1 раз на 10, 30 и 40 см (таблица 5).

При аналогичном осреднении метеозаэлементов по м/с ATMOS 41 модельная влажность также возрастает, и на 10–50 см превышает

фактическую/интерполированную влажность в течение большей части годового периода, тогда как при ежедневных метеоданных модельная влажность ниже измеренной на протяжении большей части расчётного периода, кроме глубины 10 см, где она, напротив, выше измеренной влажности. На 60 и 70 см модельная влажность, будучи выше фактической, продолжает увеличиваться. На 80 и 90 см модельная влажность большую часть исследуемого периода ниже фактической при суточных метеопараметрах, но после их осреднения до декадных она становится близкой к интерполированной влажности в течение большей части расчётного периода, а при вводе осреднённых за месяц метеозначений модельная влажность выше интерполированной. На 100 см модельная влажность также возрастает по мере осреднения суточных метеозлементов за декаду и за месяц, и также становится близкой к интерполированной влажности в течение всё большей части периода моделирования.

Таблица 5

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей почвы $\leq 1\%$) при различной дискретности метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 за 1-летний период моделирования.

Глубина, см	Метеостанция Тверь			Метеостанция ATMOS 41		
	Суточные данные	Декадные данные	Месячные данные	Суточные данные	Декадные данные	Месячные данные
10	0	0	1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	1	0	0	1
40	0	0	1	0	0	1
50	0	0	0	0	0	0
60	11	11	33	11	11	33
70	31	41	63	31	31	33
80	91	91	63	101	91	63
90	101	101	63	101	101	63
100	111	101	124	111	101	124

В целом с осреднением метеозлементов наблюдается худшая согласованность между динамикой модельной и измеренной / интерполированной влажности почвы. Период нахождения модельной почвы в

состоянии полного насыщения или близком к нему при осреднении метеоданных, полученных метеостанцией ATMOS 41, возрастает также на 60–100 см. На 10–50 см модельная влажность не достигает полной влагоёмкости или близкой к ней величины при суточных и декадных метеоданных. Полное насыщение влагой почва достигает только при месячных метеоданных 1 раз на 30 и 40 см (таблица 5).

Заключение. По результатам сравнения динамик модельных влажностей почвы на 10 глубинах метрового слоя почвы за 2-летний и 1-летний период моделирования влагопереноса и распределения влажности почве при значениях УГВ за весь модельный период в ближайшей к месту проведения метеонаблюдений точке агрополигона ВНИИМЗ (точка 4), но при нескольких отличающихся метеопараметрах, измеренных метеостанциями Тверь и ATMOS 41, были получены следующие результаты.

1. При сравнении модельных влажностей почвы за 2-летний период в последние дни декад оказалось, что осреднение суточных метеоданных по м/с Тверь за декаду и далее за месяц приводит к увеличению модельной влажности и отдалению её от измеренной / интерполированной влажности на абсолютном большинстве глубин профиля почвы. И лишь на 100 см модельная влажность приближается к интерполированной влажности при осреднении метеопараметров. Модельная почва не достигает полного насыщения на 10–50 см ни при суточных, ни при декадных метеоданных, лишь при месячных метеоданных она насыщается до уровня ПВ или близкого к нему только 1 раз на 10, 30 и 40 см. На 60–100 см период нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему возрастает с глубиной.

2. При сравнении модельных влажностей почвы за 1-летний период в дни измерения УГВ выяснилось, что использование суточных метеопараметров с м/с ATMOS 41 приводит к некоторому увеличению модельной влажности на 10–70 см в первой половине и в конце модельного периода, по сравнению с применением метеоданных с м/с Тверь, а на 80 см – ближе к середине годового периода. Однако на 20–50 и 80 см количество близких значений (и совпадений) модельной и измеренной/интерполированной влажности при вводе в модель метеоданных с м/с ATMOS 41 больше, чем при вводе метеоданных с м/с Тверь. Для 10 см ситуация обратная — близких значений влажностей почвы больше при вводе в модель метеопараметров с м/с Тверь. На 60 и 70 см модельная влажность отдалается от измеренной. На 90 см изменение модельной влажности крайне слабое при смене вводимых в модель метеоданных и происходит только в первой половине модельного периода, а на 100 см модельная влажность практически не меняется при смене метеоданных с м/с

Тверь на метеоданные с м/с ATMOS 41. На 10–50 см модельная почва не достигает полного насыщения, а на 60–100 см влажность почвы достигает уровня ПВ или близкого к нему в первой половине модельного периода – при вводе метеоданных с обеих метеостанций. Причём с ростом глубины период нахождения почвы в состоянии ПВ возрастает. Аналогичные выводы можно сделать и при сравнении как модельных влажностей почвы между собой, так и значений модельной и измеренной/интерполированной влажности почвы в последние дни декад при оставлении суточной дискретизации метеоданных.

3. Ввод в HYDRUS-1D декадных и месячных метеопараметров за 1-летний период, измеренных метеостанцией ATMOS 41 приводит, наоборот, к снижению модельной влажности в последние дни декад и месяцев на всех 10 глубинах профиля почвы, по сравнению с применением метеоданных, измеренных метеостанцией Тверь. Особенно это снижение заметно во второй трети периода моделирования. При этом на 10–90 см модельная влажность приближается к интерполированной, и при декадных метеоданных наблюдается больше близких значений (и совпадений) между влажностями почвы при вводе в модель метеоданных с м/с ATMOS 41, чем с м/с Тверь. На 100 см близких значений модельной и интерполированной влажности больше при применении метеоданных с м/с Тверь, а при вводе метеовеличин с м/с ATMOS 41 модельная влажность отдаляется от интерполированной в меньшую сторону. Модельная почва не достигает состояния насыщения или близкого к нему на 10–50 см при декадных метеоданных с обеих метеостанций. При месячных метеоданных – достигает уровня ПВ или близкого к нему на 10 см при данных с м/с Тверь, на 30 и 40 см – при данных с обеих метеостанций. На 60–100 см период нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему в целом нарастает с увеличением глубины.

4. При осреднении метеоданных по метеостанциям Тверь и ATMOS 41 за декаду, а затем за месяц модельная влажность растёт на всех глубинах метрового слоя почвы. При этом она отдаляется от фактической/интерполированной влажности на 10–80/90 см и приближается к последней на 80/90–100 см. В целом динамика модельной влажности почвы при осреднении метеопараметров хуже согласуется с динамикой фактической/интерполированной влажности почвы.

5. На глубинах 10–50 см модельная почва за 2-летний и 1-летний период не достигает полного насыщения ни при суточных, ни при декадных метеопараметрах. При месячных метеоданных с обеих метеостанций модельная влажность достигает уровня ПВ или близкой к нему на 10, 30 и 40 см (кроме глубины 10 см при вводе данных по ATMOS 41). На глубинах же 60–100 см

период нахождения модельной почвы в состоянии полной влагоёмкости или близком к ней в целом возрастает как при осреднении метеопараметров (за некоторыми исключениями), так и с ростом глубины слоя почвы.

Библиографический список

1. Martinez C., Hancock G.R., Kalma J.D., Wells T. Spatio-temporal distribution of near-surface and root zone soil moisture at the catchment scale // Hydrological Processes. 2008. Vol. 22, Issue 14. P. 2699–2714. DOI: 10.1002/hyp.6869.
2. Шейн Е.В. Курс физики почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
3. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. М.: Издательство Московского университета, 2012. 544 с.
4. Шейн Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении: учебник. М.: «ИП Макарушев А.Б.», 2016. 377 с.
5. Гранулометрический состав почв конечно-моренной гряды Верхневолжского постледникового района (Восточно-Европейская равнина, Тверская область) / Шейн Е.В. [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. Вып. 110. С. 5–21. DOI: 10.19047/0136-1694-2022110-5-21.
6. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: методическое руководство / Шейн Е.В. [и др.] / под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
7. Seina M., Simunek J., van Genuchten M.Th. HYDRUS. User Manual. Version 5 // PC-Progress, Prague, Czech Republic. 2022. 342 p.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS MEASURED BY TWO NEARBY WEATHER STATIONS, AT THEIR DIFFERENT DISCRETENESS, ON THE MODEL SOIL MOISTURE

A.V. Kozhunov

Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, avkozhunov@mail.ru

Summary: The nature of the influence of meteorological parameters at different degrees of averaging (daily, ten-day, monthly), measured by two nearby weather stations over 2-year and 1-year periods and entered into the HYDRUS-1D model, on changes in model soil moisture over time, as well as on the nature of differences between model and measured/interpolated soil moisture at depths of 10-

100 cm, provided that groundwater level values for the entire simulation period are entered into HYDRUS-1D.

Keywords: HYDRUS-1D; pedotransfer functions; daily, ten-day, monthly meteorological parameters; measured and interpolated soil moisture; averaging of meteorological data; total soil moisture capacity.