

И.В. Пилецкий

Результаты моделирования слоев антропогенной почвы культурного ландшафта

Нами уже отмечалось [1], что важнейшим условием высокоэффективного плодородия антропогенной почвы является необходимое растениям соотношение в почвенном профиле минеральной и органической частей. Этот оптимум определяет водно-физические, агрономические и технологические свойства почвы. В частности, от количества торфа, его свойств зависит содержание влаги и воздуха, поглощение и удержание питательных веществ. Поэтому для установления количественного выражения влияния антропогенного, гидрологического, метеорологического факторов на водный режим зоны аэрации (корнеобитаемого слоя) трансформированных мелкозалежных торфяников нами была предложена методика исследования закономерностей влагопереноса не занятых растениями почв культурного ландшафта [2], построена математическая модель расчета водного режима культурного ландшафта [1], а теперь и просчитаны на ЭВМ различные сочетания вариантов основных факторов, влияющих на плодородие почв (табл. 1) с использованием вышеупомянутых разработок.

Таблица 1

Исходные данные вариантов для расчета на ЭВМ

| Мощность пахотного слоя, м | Наклон подпахотных слоев, град. | Размеры слоев, см | Уровни грунтовых вод, м | Осадки, q, мм | Испарение, i, мм | $K_B(\Phi), E(\Phi)$ |
|----------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|---------------------|--------------------|---|
| 0,2 во всех вариантах | 45° и 90° | 30 : 30 30 : 60 60 : 30 50 : 50 | 0,8 и 1,2 | - 5 - 10 - 30 | +5 + 10 + 30 | $K_{1B} = 400e^{0,5\Phi}$ $K_{2B} = 800e^{1,2\Phi}$ $K_{3B} = 35e^{0,8\Phi}$ $K'_{3B} = (3,5) e^{0,6\Phi}$ $e_1(\Phi) = \frac{40}{1 + 3,16(\Phi + 5)^2}$ $e_2(\Phi) = \frac{50}{1 + 7,15(\Phi + 4)^2}$ $e_3(\Phi) = \frac{60}{1 + 14,75(\Phi + 2)^2}$ |

Начальное условие имело вид $\phi(Z, X) = q(-H+Z)$.

Анализ полученных результатов для варианта с соотношением в почвенном профиле торф : песок = 1 : 2 показывает, что при испарении с поверхности 5 мм в сутки и уровне грунтовых вод (УГВ) = 0,8 м иссушением охваты-

вается слой 0-0,2 м, т.е. иссушается практически только пахотный слой. Разница в значениях потенциалов влаги здесь составляет около – 23 Дж/кг. Ниже этого слоя распределение величины Φ незначительно отклоняется от равновесного. Интенсивность испарения с поверхности 10 мм в сутки, в аналогичных условиях, увеличивает слой иссушения такой почвы до 0,3-0,35 м, но самые существенные изменения величины Φ ограничиваются тут, как и в первом случае, пахотным слоем (0-0,2 м). Однако количественные показатели значений Φ на поверхности почвы уменьшились в 8 раз, хотя интенсивность испарения возросла только в 2 раза. Примерно в 10 раз возросла и разница потенциалов влаги на глубине 0 и 0,2 м. Следует подчеркнуть, что время перераспределения влаги по профилю, в обоих случаях, не зависело от интенсивности испарения и составило трое суток. Определенное влияние на распределение потенциалов влаги по почвенному профилю оказывают и уровни грунтовых вод (УГВ). Так при УГВ = 1,2 метра и испарении 5 мм в сутки мощность слоя затронутого иссушением возросла в три раза и достигла 0,6 м по сравнению с УГВ = 0,8 м. Интенсивность испарения в 10 мм в сутки увеличивает зону иссушения на 0,1 м. Разница в значениях потенциалов на поверхности почвы и на уровне 0,6 м ($i = +5$ мм/сут., УГВ = 1,2 м) составило – 193 Дж/кг, а при $i = +10$ мм/сут. – 640 Дж/кг. Для этих УГВ рост испарения в два раза (с 5 до 10 мм/сут.) уменьшил примерно во столько же раз и значение потенциала влаги в иссушаемом слое. Если представить, что УГВ понизились только в 1,5 раза, то значения потенциалов влаги, в частности, на поверхности почвы, уменьшатся (при $i = +5$ мм/сут. до 10, а при $i = +10$ мм/сут.) до трех раз. Перераспределение влаги произойдет по глубине за то же время, что и при УГВ = 0,8 м.

Что касается перераспределения влаги по почвенному профилю под влиянием одинаковой интенсивности осадков, то можно сказать, что абсолютное значение потенциалов (устойчивое распределение) практически мало зависит от УГВ. Однако время, за которое в почве устанавливается устойчивое распределение величины Φ , несколько увеличивается с понижением УГВ. Так при понижении УГВ с 0,8 до 1,2 м время увеличилось на половину суток как для интенсивности дождя в 5 мм/сут., так и для 30 мм/сут. Следует указать на то, что абсолютные значения потенциалов влаги для последнего варианта в два раза меньше первого. Осадки различной интенсивности дождя (5-30 мм/сут.) не сформировали в антропогенном почвенном профиле равновесного (по модулю) распределения потенциалов влаги.

В таблице 2 даны результаты расчета варианта с соотношением торф : песок = 2 : 1. Анализ полученных результатов показывает, что при УГВ = 0,8 м и испарении 5 мм/сут. иссушением охватывается в основном слой соответственно – 0-0,2 и 0-0,3 м, то есть незначительно выходит за пределы пахотного слоя трансформированного торфяника. Разница в значениях потенциалов между глубинами в первом случае составляет около 9 Дж/кг, во втором 216 Дж/кг. Снижение УГВ приводит к уменьшению величины Φ (табл. 2), а также увеличению глубины иссушения. При УГВ = 1,2 м мощность иссушаемого слоя возросла в три раза и достигла 0,6 м. Перепад потенциалов влаги, поверхность – глубина 0,60 м, достиг порядка – 265 Дж/кг. По сравнению с УГВ = 0,8 м, изменение УГВ способствовало увеличению потенциала влаги по абсолютной величине до 30 %. Следует указать на то, что снижение УГВ на 0,4 м приводит к уменьшению значений Φ до 20 раз. Время установления устойчивого распределения потенциалов влаги по глубине в данном варианте зависит от УГВ и интенсивности испарения. Так увеличение интенсивности испарения с +5 до +10 мм/сут., как и снижение УГВ с 0,8 до 1,2 м, увеличивает

Таблица 2

Результаты машинного эксперимента по расчету водного режима на ЭВМ для варианта Т : П = 2 : 1

| Испарение (+), осадки (-), мм/сут. | УГВ, м | Отношение торф: песок, см | Угол наклона слоев, град. | Время для установившегося значения Ф, сут. | | Установившиеся значения потенциалов влаги по профилю, Дж/кг | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|--|----------|---|------|------|------------------|------|------|------|------|
| | | | | в осн. | конечное | торфяно-песч. слой, м | | | Торфяной слой, м | | | | |
| | | | | | | 0 | 0,10 | 0,2 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| +5 | 0,8 | 60:30 | 45 | 1,5 | 2,0 | 16,2 | 9,7 | 7,44 | 5,47 | 4,16 | 3,06 | 2,01 | 1,00 |
| +10 | | | | 2,5 | 3,0 | 22,0 | 12,1 | 33,5 | 6,3 | 4,3 | 3,1 | 2,0 | 1,0 |
| -5 | | | | 1,0 | 1,5 | 6,36 | 5,96 | 5,42 | 4,69 | 3,87 | 2,97 | 1,90 | 1,0 |
| -10 | 0,8 | 60:30 | 45 | 1,0 | 1,5 | 5,44 | 5,27 | 4,91 | 4,62 | 3,76 | 2,91 | 1,96 | 1,0 |
| -30 | | | | 0,5 | 1,0 | 3,41 | 3,63 | 4,17 | 3,81 | 3,40 | 2,74 | 1,94 | 1,0 |
| +5 | | | | 2,5 | 3,0 | 27,2 | 22,6 | 16,9 | 12,1 | 71,9 | 36,2 | 8,09 | 5,21 |
| -5 | 1,2 | 60:30 | 45 | 1,0 | 1,5 | 6,96 | 6,66 | 6,31 | 6,07 | 6,04 | 5,9 | 5,7 | 4,86 |
| -30 | | | | 0,5 | 1,0 | 3,51 | 3,68 | 3,89 | 4,15 | 4,17 | 4,20 | 4,22 | 4,14 |

время достижения устойчивого распределения потенциалов влаги на одни сутки (табл. 2), что говорит о большем объеме подводящейся влаги к поверхности испарения.

Время перераспределения осадков разной интенсивности (от 5 до 20 мм/сут.) в почвенном профиле практически не зависит от УГВ при равновесном состоянии влаги. Только при больших осадках (30 мм/сут.) это время уменьшается. Абсолютные значения Φ уменьшаются примерно вдвое при увеличении осадков с 5 до 30 мм/сут.

Результаты расчета водного режима почвенного профиля с соотношением торф : песок = 1:1 показывают, что уменьшение соотношения торфа к песку привело к увеличению глубины иссушаемого слоя по сравнению с соотношением 2:1 на 10-20% (меньшая разница соответствует меньшим УГВ). Глубина иссушения меньше зависит от испарения, чем от понижения уровней грунтовых вод. Так для УГВ = 0,8 м с повышением интенсивности испарения вдвое (с 5 до 10 мм/сут.), глубина иссушения увеличилась на 0,1 м, а с понижением УГВ (с 0,8 до 1,2 м) на 0,4 м. Такая зависимость просматривается для всех вариантов (табл. 1). Однако, этого нельзя сказать об абсолютных значениях потенциалов влаги, значение которых находится в жесткой зависимости от интенсивности испарения, уровней грунтовых вод и соотношения торф : песок в подпахотном слое. В качестве примера возьмем соотношение торф:песок = 1:1. Разница значений потенциалов влаги (абсолютная величина) на поверхности почвы и на нижней границе иссушаемого слоя для интенсивности +5 и +10 мм/сут. и УГВ = 0,8 м соответственно 20 и 250 Дж/кг, а УГВ 1,2 м – 294 и 673 Дж/кг.

Сравнивая эти значения с выше приведенными по другим вариантам, почвенному профилю с соотношением торф:песок = 2:1 свойственны:

- меньшие абсолютные значения потенциалов влаги при исследуемых значениях испарения, т.е. такой профиль иссушается меньше;
- распределение осадков по зоне аэрации протекает практически одинаково по всем почвенным профилям (вариантам). Абсолютные значения потенциалов влаги мало зависят от УГВ (0,8 и 1,2 м) и отличаются лишь десятками долями Дж/кг. С увеличением интенсивности дождя с 5 до 30 мм/сут. эти значения хотя и уменьшаются до 2-х раз (слой 0-0,4 м), однако разница в значениях по глубинам остается несущественной.

Особое значение для практики представляет поведение водного режима почвенного профиля в зависимости от изменения коэффициента влагопроводности ($K_{вт}$). В расчетах, для установления влияния минерализации торфа, нами были уменьшены значения величины ($K_{вт}$) с 35 до 3,5, то есть в 10 раз по сравнению с предыдущим вариантом. В этом случае устойчивое распределение влаги по профилю достигается на одни сутки позже сравниваемого. Мощность иссушаемого слоя для УГВ = 0,8 м и интенсивности испарения 5 мм/сут. ограничивается пахотным слоем, однако разница значений Φ этих точек составляет 106 Дж/кг. По сравнению с предыдущим вариантом значение потенциала влаги (на поверхности почвы) уменьшилось в четыре (-111,3 и -24,5 Дж/кг), а на глубине 0,10 м – в семь раз (-72,9 и -11,1 Дж/кг). Увеличение интенсивности на 5 мм/сут. в три раза уменьшило значение Φ (-111,3 и -329 Дж/кг), а мощность иссушаемого слоя достигла глубины 0,4 м. Здесь разница значений Φ составила 310 Дж/кг, или уменьшилась на 30 % по сравнению с предыдущим вариантом. Понижение УГВ с 0,8 до 1,2 м при $i=+5$ мм/сут, увеличило мощность иссушаемого слоя до 0,7, а при $i=+10$ мм/сут. – до 0,8 м. Разница значений Φ на верхней и нижней границах составляет соответственно: -322 и -696 Дж/кг. Что касается распределения осадков по профилю, то оно идет на сутки дольше, однако количественные значения величины Φ по глу-

бинам отличаются от выше рассмотренных вариантов, несущественно, то есть основную роль здесь играет песчаный слой.

Характер полей потенциала в почве при расчете одного из вариантов, приведен на рис.1 с дополнительно нанесенными значениями Φ , измеренными в полевых условиях (лизиметрах). Анализ полей потенциала влаги, полученных в результате проведения численных экспериментов свидетельствует о том, что на антропогенных торфяных почвах, при интенсивности испарения 5 мм/сут. и менее, влагоперенос от УГВ в корнеобитаемый слой можно с некоторым приближением рассматривать как одномерный.

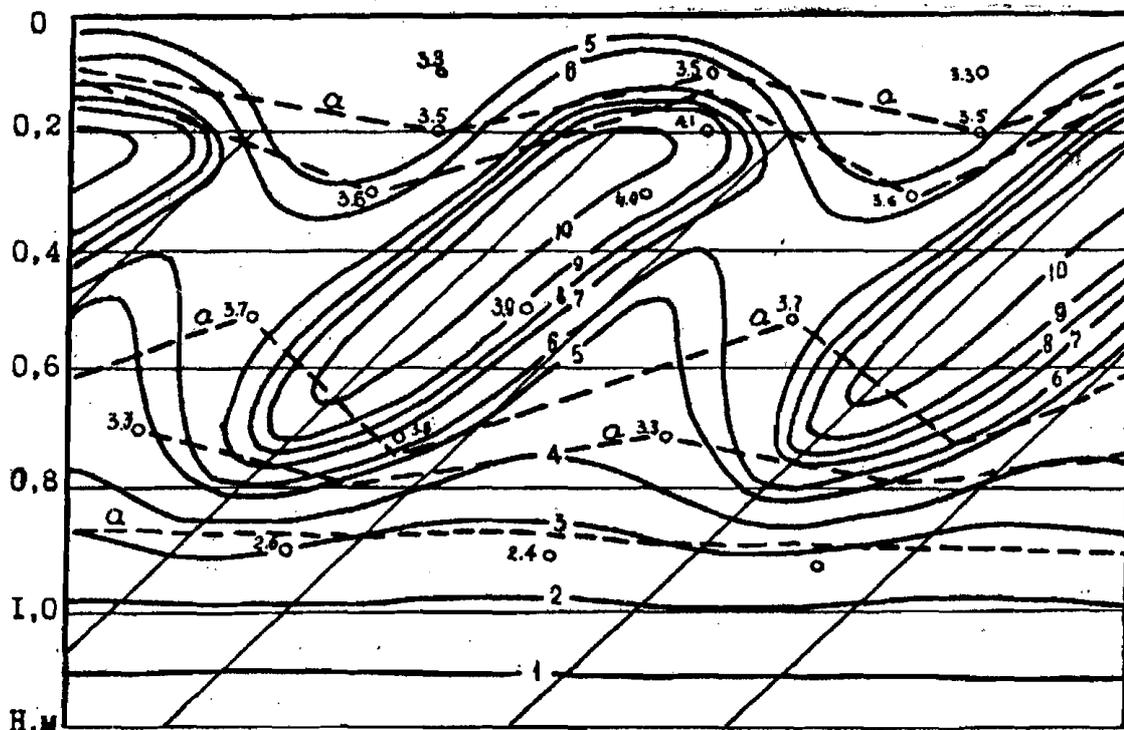


Рис. Изолинии капиллярного потенциала влаги (- Φ , Дж/кг) для варианта Т:П = 2:1 (УГВ 1,2 м, осадки 30 мм/сут.).
1 - 0,9; 2 - 2,0; 3 - 2,8; 4 - 3,2; 5 - 3,5; 6 - 3,6; 7 - 3,8; 8 - 3,9;
9 - 4,0; 10 - 4,2 Дж/кг; а - экспериментальные.

Сравнение характера полей потенциала влаги всех вариантов, полученных теоретическим путем и прямыми измерениями в лизиметрах в соответствующих условиях показало удовлетворительную сходимость.

С целью наиболее полного уяснения механизма передвижения влаги в почвенном профиле антропогенных почв и ее количественной оценки производили определение интенсивности и величины потока влаги для выше приведенных вариантов (табл.1) при установившемся режиме. Полученные результаты показывают, что при установившемся распределении влаги по профилю основная масса осадков отводится к грунтовым водам по наклонному песчаному слою (до 70 %). Изменение мощности песчаного слоя (в определенных пределах) не оказывает существенного влияния на объем отводимой им влаги к УГВ.

Интенсивности восходящих влагопотоков по торфяному и песчаному слоям для $i = +5$ мм/сут. и менее мало зависят от соотношения их в подпахотной части почвенного профиля. Наименьшее же значение во влагопотоках (9 %) наблюдается при соотношении наклонных слоев торфа и песка, равном 2:1.

Таким образом, на основании обработки результатов исследований численного эксперимента на ЭВМ, и подтвержденных лизиметрическими опытными данными, установлено, что:

- наиболее благоприятные условия водного режима трансформированных торфяников, подстилаемых хорошо проницаемыми песками (с коэффициентами фильтрации более 1 м/сут.), обеспечиваются при соотношении торф:песок = 0,6 : 0,3 м (Т : П = 2 : 1);

- при интенсивности потока влаги от уровней грунтовых вод на эвопотранспирацию 5мм/сут. и менее перенос влаги в корнеобитаемый слой можно с некоторым приближением рассматривать как одномерный;

- до 70% инфильтрационного потока осадков к уровням грунтовых вод (при установившемся режиме передвижения влаги) отводится наклонными песчаными слоями. Это свидетельствует о целесообразности увеличения соотношения толщины наклонных слоев торфа и песка, а следовательно, снижения затрат на создание антропогенной почвы культурного ландшафта.

В заключение отметим, что этими исследованиями проблема не исчерпана, так как требуется решение еще одного немаловажного вопроса – расчета глубины залегания уровней грунтовых вод, обеспечивающего оптимальные условия влажности для корнеобитаемого слоя почвы, в соответствии с требованиями растений в процессе вегетации и климатических факторов. (Необходимый водный режим обуславливается требованием, чтобы влажность в верхней части корнеобитаемого слоя почвы не опускалась ниже оптимального предела, а в нижней части не превышала его верхнего оптимального предела). Отсюда становится очевидным – ответ на поставленный вопрос можно дать только после проведения дополнительных экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилецкий И.В. Математическое моделирование водного режима культурного ландшафта // Веснік ВДУ, 1997. № 1(3). С. 110-115.
2. Пилецкий И.В. Методика исследования закономерностей влагопереноса на занятых растениями почв культурного ландшафта // Веснік ВДУ, 1997. № 2(4). С. 95-100.

S U M M A R Y

The paper presents the results of the research of the anthropogenic layers of the soil.

It is found that the structure of the soil with the thickness of the peat layer – 0,6 m and that of the sand – 0,3 m possesses the best properties of water regime.