

УДК 626.862

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ ВОД МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

К.К. Жибуртович, кандидат технических наук

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов

Ключевые слова: осушительно-увлажнительная система, уровень грунтовых вод, эпора равновесного влагосодержания, водобалансовые расчеты

Введение

Дальнейший прогресс в повышении эффективности земледелия на мелиорированных территориях в значительной мере определяется точностью и надежностью прогнозов изменения режимов уровней грунтовых вод. Общеизвестно, что даже незначительное отклонение глубин стояния вод от оптимальных значений неизбежно приводит к существенному снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

При расчете колебаний уровней грунтовых вод (УГВ) осушительно-увлажнительных систем на основе балансового метода обычно используются данные об изменении влагосодержания дренируемых грунтов в зоне неполного насыщения.

Объем пор, освободившихся от гравитационной влаги при снижении УГВ от поверхности на глубину S (рис. 1), можно получить по формуле:

$$W_{(S)} = \omega_{\Pi} * S - \int_0^S \omega_{\gamma} d\gamma, \quad (1)$$

где $W_{(S)}$ – объем гравитационной влаги, дренировавшей с единицы площади при понижении УГВ от поверхности на глубину S , м³/м²;

$\omega_{\Pi} * S$ – объем влаги, содержащейся в водонасыщенном монолите грунта высотой S с единичной площадью основания, м³/м²;

$\int_0^S \omega_{\gamma} d\gamma$ – объем пор грунта выше уровня грунтовых вод, заполненный капиллярно-подпертой влагой, м³/м²;

ω_{Π} – полная влагоемкость, дол. ед.;

ω_{γ} – влажность в зоне неполного насыщения, дол. ед.;

Из [1] следует, что при расчете изменения УГВ необходимо располагать достаточно надежными данными о распределении влаги в зоне неполного насыщения. В мелиоративной гидрогеологии обычно используется допущение о том, что при достаточно больших промежутках времени и относительно незначительных колебаниях УГВ выше свободной поверхности безнапорного потока (3-5 см/сут) устанавливается эпора равно-

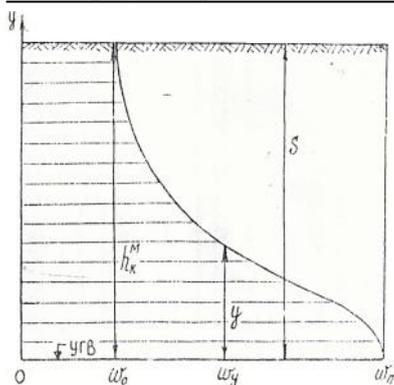


Рис. 1. Эпюра равновесного влагосодержания

весного влагосодержания, которую в однородных грунтах можно считать независимой от глубины стояния УГВ относительно дневной поверхности дренируемых грунтов. Поэтому точность балансовых расчетов в значительной степени определяется степенью соответствия реальных эпюр влагосодержания выше УГВ расчетным.

Для описания кривой равновесного влагосодержания в различных грунтах в настоящее время используется целый ряд эмпирических и теоретических формул [2-4]. В прикладных исследованиях широко применяются формулы, разработанные О.Н. Носовой и С.Ф. Аверьяновым.

О.Н. Носова предложила считать эпюру равновесного влагосодержания выше УГВ в виде уравнения гиперболы (рис. 2)

$$\omega_{\gamma} = \omega_0 + A / (\gamma - B), \tag{2}$$

где А и В – эмпирические коэффициенты, м;

ω_0 – наименьшая влагоемкость, дол. ед.

С.Ф. Аверьянов исходил из распределения капиллярной влажности по высоте по параболе в соответствии с выражением (3):

$$\omega_{\gamma} = \omega_n \sqrt{1 - \frac{\gamma}{h_k^M} \left[1 - \frac{\gamma}{h_k^M} \left[1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega_n} \right)^2 \right] \right]}, \tag{3}$$

где h_k^M – максимальная высота капиллярного поднятия дренируемых грунтов, м.

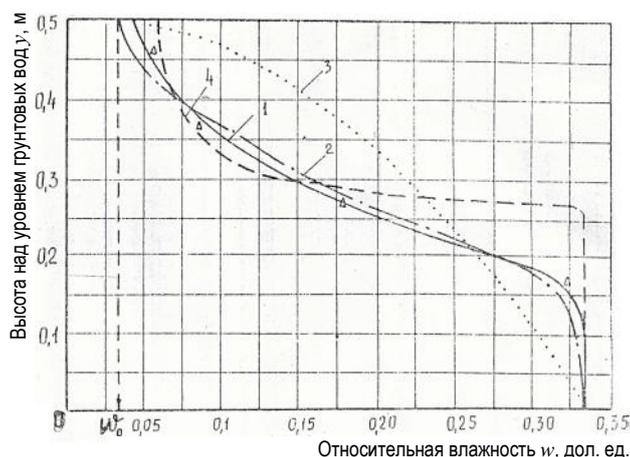


Рис.2. Кривые равновесного влагосодержания для среднезернистого песка $d_{10} = 0,2$, $U = 2,5$. Δ – данные эксперимента; 1 – по формуле (7) при $n = 2$, $\alpha = 15,05$ $1/m^2$; 2 – по формуле (7) при $n = 3$, $\alpha = 33,1$ $1/m^2$; 3 – по формуле (3) при $h_k^M = 0,5$ м; 4 – по формуле (2) при $A = 5,88 \cdot 10^{-3}$, $B = 0,24$

Достоинством формул (2), (3) являются их простота и достаточно удовлетворительная точность описания кривых равновесного влагосодержания. Применение в практических расчетах зависимости (2) предпочтительнее, поскольку в нее входят параметры $\omega_{\text{п}}$ и ω_0 , являющиеся физическими константами грунта, легко определяемыми по данным лабораторных исследований. Для расчета $\omega_{\text{п}}$ и ω_0 легких минеральных грунтов, на основе применения методов планирования эксперимента, получены расчетные зависимости в виде полинома второго порядка в функции от их гранулометрического состава [5]:

$$\omega_{\text{п}} = 0,3166 - 0,002U - 0,253 d_{10} - 0,108 d_{10} + 3,6 d_{10}^2, \quad (4)$$

$$\omega_0 = 0,3744 - 0,011U - 3,651 d_{10} + 0,075 d_{10} U + 9,94 d_{10}^2. \quad (5)$$

Зависимости применимы при $0,01 \leq d_{10} \leq 0,21$ и $2 \leq U \leq 8$.

Здесь d_{10} – диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 10% по весу, мм;

$U = d_{60}/d_{10}$ – коэффициент неоднородности грунта;

d_{60} – диаметр частиц, меньше которых в грунте находится 60% по весу, мм;

При использовании в балансовых расчетах формулы (3) возникают затруднения при обосновании численного значения параметра $h_{\text{кМ}}$, поскольку в нормативной литературе нет четких и однозначных критериев относительно способа его определения, что неизбежно приводит к субъективизму в расчетах. Для легких минеральных грунтов $h_{\text{кМ}}$ рассчитывается по формуле [6]:

$$h_{\text{кМ}} = 1,622 - 6,80 d_{10}, \quad (6)$$

при $0,01 \leq d_{10} \leq 0,21$ и $2 \leq U \leq 8$.

Выполненное нами обобщение литературных данных и результатов собственных исследований показало, что эпюру равновесного влагосодержания целесообразно описывать выражением (7) (рис. 2):

$$\omega_y = \omega_0 + (\omega_{\text{п}} - \omega_0) \exp(\alpha y^n), \quad (7)$$

где α и n – эмпирические коэффициенты, учитывающие структуру порового пространства грунта, его гидрофобность, степень уплотнения и др.

Предлагаемая форма эпюры влагосодержания соответствует модели грунта в виде системы параллельных капилляров с радиусами, изменяющимися в соответствии с распределением Вейбулла [7]. Распластанная правая ветвь кривой указывает на соответствие распределения пор по их диаметру распределению Вейбулла, что и определяет, в основном, форму эпюры равновесного влагосодержания. Достоинством предлагаемой расчетной формулы для описания кривой влагосодержания является ее относительно простая структура и возможности однозначного определения коэффициентов ω_0 , $\omega_{\text{п}}$, α и n по данным опытов.

В балансовых расчетах широко используется понятие коэффициента интегральной (суммарной) водоотдачи

$$\mu_{\text{и}(s)} = \frac{W_{(s)}}{W_{\text{г}}} = \frac{\omega_{\text{п}} * S - \int_0^s \omega_y dy}{S} = \omega_{\text{п}} - \omega_{\text{ср}}, \quad (8)$$

где ω_{cp} – среднее влагосодержание в зоне капиллярной каймы;

W_r – объем грунта выше УГВ, м³/м².

Остальные обозначения см. формулу (1).

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что во многих случаях показатель степени n в формуле (7) может быть принят равным 2 (рис. 2).

С учетом (7) и (8), при $n = 2$, можно получить формулу для расчета водовместимости почвогрунтов при понижении УГВ от поверхности на глубину S в виде

$$W_{(S)} = 1000 \cdot s \cdot \mu_{и(S)} = 1000 \cdot s \cdot \mu_{п} \left[1 - \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\alpha S}} \operatorname{erf}(\sqrt{\alpha S}) \right], \quad (9)$$

где $\mu_{п} = \omega_{п} - \omega_0$ – предельное значение коэффициента водоотдачи, дол. ед.

$W_{(S)}$ – водовместимость грунта при понижении УГВ от поверхности на глубину S , мм;

$$\operatorname{erf}(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^Z e^{-z^2} dz \quad \text{– функция ошибок.}$$

Для легких минеральных грунтов [8]

$$\mu_{п} = 3,690 d_{10} - 8,2 d_{10}^2 + 0,009U - 0,180 d_{10}U - 0,04 \quad (10)$$

при $0,01 \leq d_{10} \leq 0,21$ и $2 \leq U \leq 8$.

На рис. 3 приведена номограмма для облегчения выполнения водобалансовых расчетов с использованием формулы (7).

Пример расчета. УГВ отстоят на глубине 0,9 м от дневной поверхности осушенной торфяной залежи. Емкостные параметры дренируемых почвогрунтов характеризуются следующими показателями: $\alpha = 2,0 \text{ м}^{-2}$, $n = 2$, $\mu_{п} = 0,3$.

Требуется определить, на какую величину произойдет подъем УГВ в междренье в случае выпадения 45 мм осадков, если за расчетный период дренажем отводится 15 мм избыточных вод, на испарение и транспирацию затрачивается 10 мм почвенной влаги.

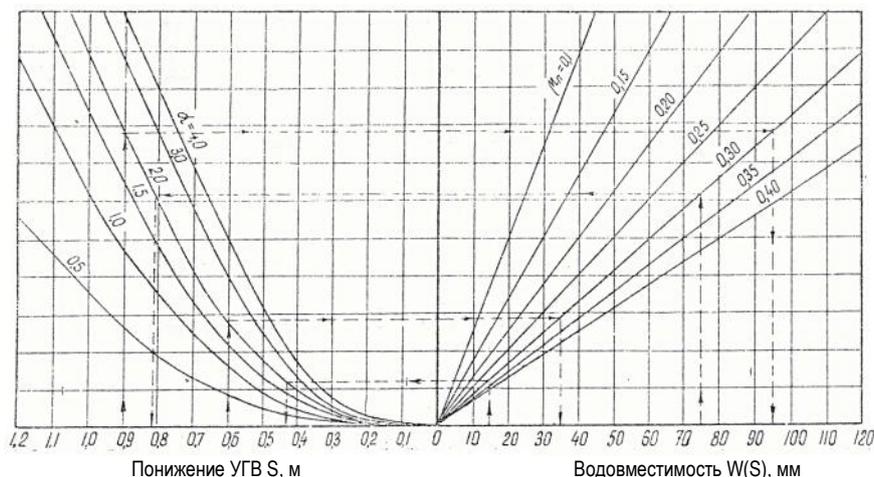


Рис. 3. Номограмма для определения водовместимости грунтов

Расчет выполняем в следующей последовательности.

При $S = 0,9$ м, $\alpha = 2,0$ и $\mu_{\Pi} = 0,3$ по графику, приведенному на рис. 3, получаем $W_{(S)} = 95$ мм. Из исходных данных следует, что за расчетный период произошло изменение водовместимости грунтов

$$\Delta W = 45 - 15 - 10 = +20 \text{ мм.}$$

Следовательно, водовместимость почвогрунтов за рассматриваемый период уменьшилась и составила

$$W_{(S_1)} = 95 - 20 = 75 \text{ мм.}$$

При $W_{(S_1)} = 75$ мм и исходных α и μ_{Π} получаем $S_1 = 0,82$ м.

Следовательно, повышение УГВ составит 0,08 м.

При тех же исходных данных оценим изменения УГВ для случая, когда первоначальный УГВ отстоит от дневной поверхности залежи на глубину $S_0 = 0,6$ м. Тогда аналогично получаем $W_{(0,6)} = 35$ мм, $W_{(S_1)} = 35 - 20 = 15$ мм и $S_1 = 0,43$ м.

Таким образом, вследствие меньшей водовместимости грунта УГВ повышаются на 0,17 м.

При наличии экспериментальных данных по остаточному влагосодержанию параметры α и n в выражении (7) легко определить графоаналитически. Для этого формулу (7) преобразуем в

$$\ln \left(\ln \frac{\omega_{\Pi} - \omega_0}{\omega_{\gamma_i} - \omega_0} \right) = \ln \alpha + n \ln \gamma_i. \quad (11)$$

Если теперь на графике по оси абсцисс откладывать значения $1/n \ln \gamma_i$, а по оси ординат $\ln \left(\ln \frac{\omega_{\Pi} - \omega_0}{\omega_{\gamma_i} - \omega_0} \right)$, то коэффициент n – есть тангенс угла наклона осредняющей прямой,

проведенной по экспериментальным точкам к оси абсцисс, а точка пересечения осредняющей прямой с осью ординат определяет значение $1/n \ln \alpha$. Параметры формул (7)-(9), рекомендуемых для оценки влагозапасов, легко и однозначно определяются по результатам полевых, лабораторных опытов и по предлагаемым расчетным зависимостям.

Вывод

Разработанные расчетные зависимости для количественной оценки равновесного влагосодержания в зоне аэрации дренируемых грунтов позволяют достаточно точно описать эпюру равновесного влагосодержания для большинства мелиорированных грунтов, встречающихся на территории Республики Беларусь.

Предлагаемая форма эпюры влагосодержания соответствует модели грунта в виде системы параллельных капилляров с радиусами, изменяющимися в соответствии с распределением Вейбулла. Изложена методика расчета уровней грунтовых вод на мелиорированных землях.

Литература

1. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. – М. – Л.: Изд. – во АН СССР, 1936. – 316 с.
2. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. – М.: Колос. – 1982. – 236 с.
3. Пеньковский В.И. О коэффициенте диффузии уравнения движения влаги в почвогрунтах // Механика и машиностроение. – 1964. – №3. – С.149-152.
4. Афанасик Г.И., Лундин К.П. Методические указания по определению водно-физических свойств грунтов мелиорируемых земель. – Мн.: БелНИИМВХ, 1973. – 82 с.
5. Жибуртович К.К. Расчет наименьшей и полной влагоемкости легких минеральных почв // Управление водным режимом мелиорированных земель. – Мн.: БелНИИМВХ, 1987. – С. 118-127.
6. Жибуртович К.К. Алгоритм определения коэффициента водоотдачи для уравнения Буссинеска // Прогнозы водного режима при мелиорации земель. – Мн.: БелНИИМВХ, 1988. – С. 115-128.
7. Лундин К.П. Водные свойства торфяной залежи. – Мн.: Ураджай, 1964. – 212 с.
8. Жибуртович К. К. Количественная оценка водоотдачи минеральных грунтов легкого механического состава // Осушительные и осушительно-увлажнительные системы. – Мн.: БелНИИМВХ, 1986. – С. 117-123.

Summary

Zhiburtovich K. ATMOSPHERIC PRECIPITATION INFLUENCE ON RECLAIMED GROUNDS SUBSOIL WATERS LEVEL

Calculated dependences for equilibrium quantitative estimation in a zone of drained grounds aeration are presented. The dependences developed allow to describe precisely enough equilibrium water content pattern diagram for the most of the reclaimed grounds, of Byelorussian territory. The offered form water content pattern diagram corresponds to the model of ground in the form of parallel capillaries with the radiuses changing according to Veibull distribution system. The optimum levels of subsoil waters on the reclaimed grounds design procedure is stated.

Поступила 2 марта 2006 г.