

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ

Научно-технический прогресс в области мелиорации требует значительного совершенствования приемов и методов проектирования мелиоративных систем в общем комплексе водохозяйственных мероприятий. Большие требования к совершенствованию проектирования возникают в области осушительных мелиораций. На первых этапах развития работ по осушению избыточно увлажненных земель проектирование водного режима ограничивалось определением условий пропуска единичных расходов в руслах рек и каналов, соответствующих фиксированным экстремальным ординатам гидрографа (максимумы паводков и паводков, сток на начало сева). Такие расчеты, характеризующие гидравлические условия потока, определяли вероятности затоплений и подтоплений прилегающих к водотокам земель в короткие периоды переувлажнения и к тому же они не характеризовали длительность затоплений и подтоплений. Водный режим в сети за весь период вегетации оставался невыясненным, а режим почвенной влаги на сельскохозяйственных полях, особенно корнеобитаемой зоны, при проектировании мелиоративных мероприятий совсем не оценивался. Такие расчеты недостаточны по следующим причинам.

Во-первых, расчеты на отдельные экстремальные расходы характеризуют режим потока в осушительных системах лишь за короткие интервалы предельного увлажнения, гидрологический режим в сети и режим почвенной влаги на полях всего основного периода вегетации остается неизвестным.

Во-вторых, гидрологический режим в осушительной сети за теплый период года не может однозначно определять режим уровней грунтовых вод на осушаемой территории. Положение грунтовых вод на сельскохозяйственных полях освоенных болот и заболоченных территорий в это время в большей степени определяется метеорологическими условиями (атмосферными осадками, суммарным испарением, влагообменом в зоне аэрации и грунтовыми водами). Только в периоды переувлажнения, при незначительной аккумулирующей емкости и регулирующей роли зоны аэрации и на болотах обильного грунтово-напорного питания, более значимое влияние оказывает осушительная сеть. В связи с этим режим грунтовых вод на полях с сельскохозяйственными культурами нужно рассчитывать и прогнозировать по всем приходным и расходным элементам водного баланса с учетом осушительного действия сети.

Предлагаемые нормативные средние за вегетацию или стабильные нормы осушения не могут служить расчетной характеристикой в проектировании. Многочисленные натурные наблюдения показывают, что при одном и том же среднем за вегетацию уровне наблюдается различный внутрисезонный ход, в том числе и неблагоприятный для

сельскохозяйственных культур, когда за отдельные интервалы времени положение грунтовых вод значительно отклоняется от оптимального и при проектировании не оценивается. Таким образом, детально разработанные условия по оптимальным нормам осушения за вегетационный период практически не проектируются. Предусматриваемые же методы по поддержанию оптимальных стабильных уровней грунтовых вод при помощи гидротехнических сооружений также требуют специальных расчетов в целях определения правильных технических приемов, их эффективности и изыскания водоисточников.

В третьих, в проектах необходимо выполнять расчеты по прогнозу режима влажности почвы в целях решения одной из главных задач мелиорации — обеспечения оптимального увлажнения корнеобитаемой зоны. Естественный гидрологический режим в русловой сети в течение большей части периода вегетации сельскохозяйственных культур полностью не определяет режим уровней грунтовых вод на полях. Тем более он не может определять режим влажности корнеобитаемого слоя почвы на осушенном болоте, который складывается в основном под влиянием режима осадков и испарения. Лишь в периоды высокого положения уровней грунтовых вод при интенсивном капиллярном подтоке в зону аэрации повышается влияние уровенного режима грунтовых вод и уровней в осушительной сети на увлажненность корнеобитаемой зоны. Поэтому, проектируя режим увлажнения при осушении земель, необходимо выполнять расчеты по балансу почвенной влаги.

Режим стока в дренах и каналах, а значит, и осушительное их действие не только зависит от водно-физических свойств грунтов, конструкции и расположения сети, но и определяется формирующимися в природных условиях избыточными объемами воды и временем, необходимым для своевременного отвода этих объемов.

Поэтому в расчетах стока через осушительную сеть важен общий подход по условиям формирования элементов водного баланса с учетом общего влагооборота на данной территории и местных условий водного питания. Инженерные гидротехнические приемы и сельскохозяйственное освоение земель вызывают лишь перераспределение приходных и расходных элементов влаги по соотношению во времени, по глубине почвенно-грунтового профиля и по бассейну, при этом общие водные ресурсы территории почти не изменяются. Поэтому в таких случаях необходимо учитывать условия и закономерности формирования всех составляющих водного режима и определять целесообразную меру этого вмешательства. Различные дренажные системы могут обеспечить больший и меньший объем стока, но отводить они должны только определенные объемы воды, которые за рассматриваемые гидрологические фазы или за более короткие интервалы времени оцениваются как избыточные, мешающие хозяйственному использованию территории. Такие объемы и режим необходимого сброса можно устанавливать на основе воднобалансовых расчетов по режимным характеристикам приходных и расходных элементов влаги. По ним для конкретных условий почв и грунтов надо проектировать и параметры осушительных систем, обеспечивающие своевременный отвод избыточных вод.

Требования к совершенствованию проектирования гидромелиоративных систем и вопросы рационального использования и охраны водных ресурсов на современном этапе приобретают особое значение. В проектировании водохозяйственных систем необходимо более точно и экономно учитывать и перераспределять водные ресурсы. В связи с этим возникает задача более точного определения функций и эффективности работы каждого элемента системы, направленная на оптими-

зацию внешних условий среды для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Изменяя водный режим территории, следует иметь в виду, что кажущаяся избыточная увлажненность территории в результате накопления и застоя приточных вод нередко резко изменяется в динамике составляющих водного баланса после направленных воздействий (мелиорации). Поэтому при проектировании воднохозяйственных и мелиоративных мероприятий нужно исходить из баланса приходных и расходных составляющих водного режима.

В настоящее время известны исследования по режимным гидрологическим характеристикам, условиям и закономерностям формирования приходных и расходных элементов влаги на мелиорируемых землях, закономерностям влагообмена в зоне аэрации и на границах этой зоны, по оптимальным и критическим пределам влагозапасов в почве и другим вопросам [1—9]. Результаты этих исследований необходимо использовать для разработки и совершенствования методов расчетов и прогнозов режима увлажнения в целях проектирования совершенных осушительно-увлажнительных систем, рационально построенных и обеспечивающих оптимальные условия увлажнения. Это позволяет принципиально по-новому подойти к методам проектирования водного режима на осушаемых землях и обеспечить оптимальные условия увлажнения для сельскохозяйственных культур. Новизна этих предложений заключается в следующем:

- 1) внедрение в проектирование увлажнения на осушаемых землях, помимо экстремальных нормативов по стоку, режимных гидрологических характеристик, устанавливающих изменение гидрологических элементов во времени и позволяющих характеризовать гидрологический режим за весь период вегетации культур и работы сети;

- 2) прогнозирование водного режима сельскохозяйственных полей и режима почвенной влаги в корнеобитаемом слое в течение всех периодов напряженной работы осушительных систем и вегетации культур на основе воднобалансовых расчетов в типичные по увлажненности или реальные расчетные годы;

- 3) применение таких методов воднобалансовых расчетов по совокупности приходных и расходных элементов, в которых, в отличие от существующих уравнений водного баланса, учитывается процесс формирования отдельных составляющих в течение времени, их взаимосвязь и взаимообусловленность в формировании и динамике общего водного режима [7, 8, 9].

Проектирование режима увлажнения на основе воднобалансовых расчетов позволяет учесть влияние всех гидрометеорологических, почвенных и гидрогеологических условий данного региона и правильно наметить инженерно-технические мероприятия по регулированию водного режима, с более конкретным назначением строить отдельные элементы осушительно-увлажнительных систем. Такие расчеты дают возможность составлять воднобалансовые графики, характеризующие изменение во времени уровней грунтовых вод, влагозапасов в зоне аэрации и корнеобитаемом слое, формирование во времени модулей внутреннего стока (дренажного стока) или необходимых для отвода избыточных объемов воды. Выполненные для болот территории Белорусской ССР расчеты [7, 8, 9] показывают, что во многих случаях низинных мелкозалежных болот, подстилаемых достаточно водопроницаемыми песками, нужно строить весьма разреженные дренажные линии, так как при понижении уровней грунтовых вод в весенний период до минимальной нормы осушения в дальнейшем за летне-осенний период не появляются объемы для необходимого отвода избыточных

вод. В других случаях установлено, что избыточная увлажненность на массиве создается за счет вод боковой приточности, и поэтому основное внимание в проектировании надо уделять периферийной сети или аккумуляции этих вод. На площади массива осушительная сеть может быть значительно разрежена [8].

Результаты воднобалансовых расчетов показывают возможность уточнения конструкции осушительных систем и глубины рек-водоприемников, позволяют определить режим дефицитов почвенной влаги для сельскохозяйственных культур и решать многие другие вопросы. Это важно для совершенствования гидромелиоративных систем, для обеспечения оптимальных условий почвенной влажности на полях с сельскохозяйственными культурами, позволяет также менее резко вмешиваться в естественные условия рек.

Однако расчеты по совокупности приходных и расходных элементов влаги в их динамике и взаимосвязи пока невозможны по строгим теоретическим формулам. Расчетные элементы выступают здесь как случайные процессы, объединяются переменные величины непрерывные и дискретные, взаимосвязь их не выражается однозначно и в явном виде. Так, если поставить задачу установления режима уровней грунтовых вод H и влагозапасов W в условиях конкретного расчетного года (типичного года характерной водности), то для фиксированных водно-физических свойств среды схематически это можно представить так:

$$F(H, W, t) = N_0 + \sum_{i=t_0}^{i=t} f_i [r_i, E_i, \varphi_i(H, W)], \quad (1)$$

где t — текущее время; N_0 — начальные условия; r — атмосферные осадки; E — суммарное испарение; φ_i — функция влагообмена зоны аэрации с уровнем грунтовых вод.

Отсюда воднобалансовые расчеты могут выполняться по разным упрощенным способам с применением ЭВМ. Они зависят от конкретно поставленной задачи и должны базироваться на закономерностях естественного формирования основных элементов водного баланса, взаимосвязи между приходными и расходными компонентами, на законах взаимодействия со средой при движении и фазовых превращениях воды. Такие расчеты не обязательны для каждого мелиоративного объекта, они могут быть выполнены для отдельных характерных регионов или групп объектов и приниматься по аналогии с уже выполненными расчетами.

В прогнозе режима влажности почв на осушаемых землях в годы различной вероятности по водности и при проверке оптимальности условий увлажнения под влиянием проектируемых мелиоративных мероприятий можно основываться на воднобалансовом подходе, когда

$$W_2 = W_1 + \sum_{t_1}^{t_2} Q_m \leq W_{кр}, \quad (2)$$

где W_2 — влагозапасы в определенном слое почвы на конец фиксированного промежутка времени $\Delta t = t_2 - t_1$; W_1 — влагозапасы в том же слое на начало этого промежутка времени t_1 ; Q_m — приходные и расходные элементы влаги на границах расчетного слоя, определяющие влагообмен и вызывающие изменение влагосодержания в этом слое; $W_{кр}$ — предельное влагосодержание по условиям водоудерживающей способности слоя почвы.

В расчетах режима уровней грунтовых вод (УГВ) учитывается влагообмен с зоной аэрации и дренирующее влияние осушительных систем. Тогда

$$H_2 = H_1 + \sum_{t_1}^{t_2} \Delta H_n, \quad (3)$$

где H_2 — УГВ на конец расчетного интервала времени t_2 ; H_1 — то же на начало расчетного интервала времени t_1 ; ΔH_n — изменение УГВ за время $\Delta t = t_2 - t_1$ под влиянием n факторов.

При решении этих вопросов необходим учет динамики элементов водного баланса и их взаимосвязи в процессе формирования водного режима. Поэтому расчеты выполняются по совокупности приходных и расходных элементов влаги с учетом их изменения во времени и в процессе взаимодействия по последовательно сменяющимся интервалам непрерывного времени от любого начального момента с известными начальными условиями. При таком подходе условия влагообмена за расчетный интервал времени учитывают ситуацию за предыдущий период и особенности внутрисезонного хода отдельных элементов водного баланса.

С помощью воднобалансовых расчетов можно решать следующие задачи по проектированию осушения заболоченных земель: определение режима уровней грунтовых вод, установление модулей внутреннего стока по условиям отвода избыточных вод (модулей дренажного стока), расчеты динамики влагозапасов в зоне аэрации, в том числе в корнеобитаемом слое в течение вегетации. Воднобалансовые расчеты можно выполнять для отдельных календарных лет и для типичных по режиму приходных и расходных элементов.

Расчеты режима уровней грунтовых вод. Подробное изложение метода расчета с численным примером приведено в работе [2].

Содержание этих расчетов сводится к тому, что уровень грунтовых вод от поверхности на конец каждого расчетного интервала определяется из условия

$$H_k = H_{n-1} - (\pm \Delta H) + \Delta H_2, \quad (4)$$

где H_{n-1} — уровень на начало расчетного интервала; ΔH — повышение (+) или понижение (—) УГВ под влиянием влагообмена с зоной аэрации; ΔH_2 — понижение УГВ под влиянием дренирования, определяется по конкретной ситуации расчетного интервала на основе расчета движения грунтовых вод к каналам, в летний период значением ΔH_2 часто можно пренебречь.

Влагообмен с зоной аэрации определяет повышение поверхности грунтовых вод ($+\Delta H$) при инфильтрации атмосферных осадков C или понижение ($-\Delta H$), если происходит подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами с расходом V . Тогда

$$\Delta H = C \frac{k}{10} \quad (5)$$

или

$$\Delta H = -V \frac{k}{10}, \quad (6)$$

где k — коэффициент водоподъема или величина, обратная коэффициенту водоотдачи.

В результате выпадения обильных осадков влагонакопление в зоне аэрации может превышать максимальное равновесное влагосодер-

жание W_v . В этом случае будет происходить инфильтрация избыточных (по сравнению с вододерживающей способностью зоны) объемов воды к уровню грунтовых вод. Аккумулирующая емкость зоны $W_{ак} = 0$, а вследствие этого и подпитывание от уровня грунтовых вод $V = 0$. Расчет для C выполняется по уравнению водного баланса

$$C = W_{n-1} + r_n - E + V - W_v \geq 0, \quad (7)$$

где W_{n-1} — влагозапасы в зоне аэрации на начало расчетного интервала, мм; E , r_n — суммарное испарение и поглощенные на поверхности почвы осадки,

$$r_n = r - r_{п.с.}$$

здесь r — выпавшие осадки; $r_{п.с.}$ — часть осадков, уходящих поверхностным стоком.

Для заболоченных территорий с торфяной почвой и в других случаях хорошо водопроницаемых почв принимается $r_n = r$, так как за теплый период года поверхностный сток на таких землях отсутствует.

В уравнении (7) может получиться $C < 0$ и $C > 0$. Инфильтрация принимается при $C > 0$, и тогда подпитывание $V = 0$. Случай, когда $C < 0$, указывает на отсутствие инфильтрации ($C = 0$) и на возможное подпитывание V . В общем случае значение V определяется по выражению

$$0 \leq W_v - W_{n-1} - r + E \geq V \leq V_{max}, \quad (8)$$

где V_{max} — максимально возможное подпитывание от УГВ при условии неограничения аккумулирующей емкостью зоны аэрации.

Таковыми воднобалансовыми расчетами, учитывающими влагообмен на поверхности почвы, в слоях до уровня грунтовых вод и на поверхности грунтовых вод, можно детально охарактеризовать за теплый период режим УГВ и влагозапасов во всей зоне аэрации.

Воднобалансовые расчеты для определения модулей внутреннего (дренажного) стока. Если по ходу расчетов режима уровней грунтовых вод в отдельные расчетные периоды выявляются неблагоприятные условия с недопустимо высокими уровнями грунтовых вод H_k , то возникает необходимость сброса избыточных вод для обеспечения минимально допустимой для этого периода нормы осушения H_{min} . Необходимая величина сброса h_c определится так:

$$h_c = (H_{min} - H_k) \frac{10}{k}. \quad (9)$$

Детальное описание порядка выполнения расчетов по определению модулей внутреннего (дренажного) стока дается в работе [2].

Во многих реальных условиях правомерны значительные упрощения воднобалансовых уравнений (4) — (9). Так, за теплый период года ввиду отсутствия поверхностного стока на осушенных болотах и на других заболоченных территориях с водопроницаемыми почвами и грунтами, принимается $r_n = r$. В летне-осенний период во многих случаях дренарующее влияние осушительных систем на уровень грунтовых вод незначительно и величиной ΔH_2 можно пренебречь или принять по аналогии на основании материалов наблюдений на построенных мелиоративных системах.

Расчеты по уравнениям (4) — (9) можно также выполнять без учета дренирования грунтовых вод проектируемой сетью каналов (без учета ΔH_2). Тогда необходимые сбросы h с некоторым запасом в сто-

рону завышения определяют режим модулей внутреннего стока для всей сети осушаемого массива. Суммарный сток осушительных систем в его внутрисезонном ходе, получается добавлением составляющей подземного питания или общей боковой приточности на осушаемую территорию.

В таком раздельном анализе элементов стока заложены большие возможности совершенствования методов проектирования. Модули внутреннего стока в основном определяют необходимые параметры регулирующей сети (дренажа), а суммарный сток и боковая приточность формируют расчетные расходы для сети проводящих каналов и периферийной сети.

Ранее выполненные воднобалансовые расчеты для условий болот Белорусской ССР показывают, что во многих случаях основное внимание в методах осушения должно уделяться перехвату и отводу избыточных вод боковой приточности. На внутреннюю регулирующую сеть приходится незначительные объемы стока и во многих случаях эту сеть можно строить более разреженной. Анализ режима приходных и расходных элементов водного баланса болот во влажные годы разной обеспеченности показывает, что избыточное увлажнение территории в большой степени создается за счет боковой приточности на болота. В таком случае в методах осушения должна предусматриваться более развитая периферийная сеть и значительно разреженная в центральной части осушаемых массивов.

Расчеты влагозапасов в корнеобитаемом слое и дефицита почвенной влаги. В результате предыдущих расчетов определяется режим влагозапасов в этой зоне, динамика грунтовых вод и необходимые модули внутреннего (дренажного) стока с осушаемой территории по условию непревышения максимально допустимого уровня грунтовых вод. Такие характеристики необходимы при проектировании регулирования водного режима с целью предупреждения избыточного увлажнения во влажные годы или корректирования уровней грунтовых вод при проектировании дополнительного увлажнения шлюзованием в засушливые годы. Но режимом влажности почвы по всей глубине зоны аэрации не в полной мере оцениваются условия влагообеспеченности растений. Для такой оценки необходим анализ влагозапасов в корнеобитаемом слое.

Запасы влаги B в корнеобитаемом слое почвы на любую дату вегетационного периода можно определить по уравнению водного баланса для этого слоя, т. е.

$$B = W_{\text{вес}} + \Sigma \Delta W + \Sigma (r_p + P_p) - \Sigma E, \quad (10)$$

где $W_{\text{вес}}$ — расчетные весенние влагозапасы в корнеобитаемом слое начальной глубины и на начало вегетационного сезона; ΔW — изменение влагозапасов в корнеобитаемом слое в связи с изменением его глубины от предыдущего к последующему расчетному интервалу времени; E — суммарное испарение сельскохозяйственными культурами; Σ — сумма за время от начала расчетного периода до рассматриваемого интервала; r_p , P_p — расчетные осадки и расчетное подпитывание влаги из нижележащих слоев.

Расчетные осадки r_p — определяются по поглощенным осадкам r_n за вычетом инфильтрации в слой, расположенные глубже расчетного:

$$r_p = E + W_{\text{ак}}, \text{ если } r_n > E + W_{\text{ак}},$$

$$r_p = r_n, \text{ если } r_n < E + W_{\text{ак}}.$$

Здесь $W_{\text{ак}} = W_v - W_\phi$ — аккумулирующая способность расчетного слоя; W_ϕ — фактические влагозапасы в расчетном слое.

Расчетное подпитывание устанавливается из условия

$$W_{\text{ак}} \geq P_p \leq P_{\text{max}},$$

где P_{max} — максимально возможное по водно-физическим свойствам почвогрунтов и положению УГВ подпитывание из нижележащих слоев.

Дефицит (d) или избыток ($-d$) почвенной влаги в корнеобитаемом слое данной сельскохозяйственной культуры на любую дату теплого периода определится по отношению к оптимальным влагозапасам $W_{\text{опт}}$:

$$d = W_{\text{опт}} - B. \quad (11)$$

Для болот и заболоченных осушаемых территорий правомерны значительные упрощения в расчетах. Так, ввиду отсутствия поверхностного стока в теплый период года принимается $r_n = r$. Затем водно-балансовый расчет для корнеобитаемой зоны почв выполняется с учетом типового внутрисезонного хода уровней грунтовых вод в засушливые годы по данным наблюдений на эксплуатируемых мелиоративных системах и составляющей P_p часто можно пренебречь для летне-осеннего периода.

При выполнении воднобалансовых расчетов в проектировании режима увлажнения на заболоченных землях упрощения в приходных и расходных составляющих уравнений возможны не только за счет отсутствия поверхностного стока, неучета исчезающе малых величин (P_p , ΔH_2 и др.); но и за счет использования типизированных режимов, квазистационарных процессов, постоянных для отдельных периодов времени величин (например, подземное питание) и т. д.

Воднобалансовые расчеты легко программируются для выполнения их на ЭВМ. В БелНИИМиВХ разработаны три варианта воднобалансовых расчетов на ЭВМ:

1) на естественные условия формирования водного режима с выдачей информации по ходу уровней грунтовых вод в течение необходимого времени, влагозапасам в корнеобитаемом слое и дефициту или избытку почвенной влаги для сельскохозяйственных культур в любой принятый в проектировании расчетный год. Этим оценивается оптимальность условий и необходимая мера дополнительных воздействий;

2) на формирование водного режима при дополнительной подаче воды в корнеобитаемый слой снизу (шлюзование) с выдачей информации о необходимых подпорных уровнях грунтовых вод, которые обеспечивают нужное подпитывание снизу и по которым определяется режим шлюзования и водоисточники, с выдачей информации по суммарному подтоку грунтовых вод в зону аэрации, по режиму влагозапасов в корнеобитаемом слое и по величине восполняемого дефицита почвенной влаги на любую дату календаря. Таким образом оценивается водный режим при данном проектируемом мероприятии и ищутся необходимые водоисточники;

3) на формирование водного режима при дополнительном увлажнении дождеванием с выдачей информации по режиму уровней грунтовых вод, влагозапасам в корнеобитаемом слое и восполняемым дефицитам влаги на любую дату вегетационного периода. Устанавливается водный режим, режим подачи воды для дождевания и оцениваются водоисточники.

Литература

1. Технические условия и нормы проектирования осушительных систем в Белорусской ССР. Минск, 1970.
2. Методические указания по гидрологическим расчетам при проектировании осушительно-увлажнительных систем Полесья. Ч. 1. Расчеты по режиму почвенной влаги при осушении болот. Минск, 1972.
3. Указания и программа воднобалансовых расчетов на машине «Минск-22» при проектировании режима увлажнения на осушаемой заболоченной территории. Минск, 1973.
4. Брагилевская Э. А. Построение декадных гидрографов рек Полесья для мелиоративного периода. — В сб.: Проблемы мелиорации Полесья. Ч. 2. Минск, 1970.
5. Афанасик Г. И., Финский А. И. Методика определения подпитывания корнеобитаемого слоя почвы от уровня грунтовых вод. — В сб.: Проблемы мелиорации Полесья. Ч. 2. Минск, 1970.
6. Афанасик Г. И. Модель влагообмена в корнеобитаемом слое почвы. — «Труды по агрономической физике», 1971, вып. 32.
7. Шебеко В. Ф. Испарение и транспирация с поверхности торфяных почв. — «Труды БелНИИ мелиорации и водного хозяйства», 1956, т. 7.
8. Шебеко В. Ф. Испарение с болот и баланс почвенной влаги. Минск, 1965.
9. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. Минск, 1970.