

$$W_{нв} = 173,78 + 0,25W_{нв} \quad (11)$$

Кроме того, для оперативной количественной оценки почвенно-гидрологических констант ( $W_{jkh}$ ), влагозапасов по всем основным категориям почвенной влаги на территории Беларуси, нами разработаны комплексные графики [13].

Использование качественно нового подхода в деле оценки почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ), различных категорий влагозапасов на водосборах, изменчивости собственно почвенных влагозапасов ( $W_{hi}$ ) во времени, в пространстве и по вертикальному профилю позволяет наиболее полно исследовать их естественную динамику за короткие интервалы времени (декады) в реальный или характерный (расчетной обеспеченности) год и осуществить на данной основе моделирование оптимальных для возделываемых культур, экологически безопасных режимов гидромелиораций.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горянский М.М. Методика полевых опытов на орошаемых землях. - Киев: Урожай, 1970.-84с.
2. Филиппов Л.А. Определение сроков полива по влажности одного горизонта почвы. - Почвоведение, 1959, №7.- С.99-102.
3. Шаткаускас Г.И. Оптимальные глубины взятия проб при определении влажности почв весовым методом// Вопросы мелиораций. - Вильнюс: 1972. Вып. VII(XV).-С.12-16.
4. Валуев В.Е. Режим влажности почв юга Красноярского края// Гидротехника и гидролого-климатические расчеты для Сибири и Казахстана / Научные труды Омского СХИ, 1976. Том 151.-С.38-42.
5. Шаткаускас Г.И. К методике расчета влажности почвы// Метеорология и гидрология, 1976, №11.-С.86-90.

УДК 551.579+631.6

**Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П.**

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЧВЕННЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ НА СТАДИИ УПРАВЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЯМИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, которая является, прежде всего, продуктом благоприятного воздушного режима почв, достаточного притока влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Как известно, нижняя граница влагозапасов, при которых эвапотранспирация еще может поддерживаться на максимальном уровне, определяется подвижностью почвенной влаги и составляет, примерно, 60...80% от наименьшей влагоемкости ( $W_{нв}$ ,  $W_{max}$ ) (рисунок 1, линия 1). А.А. Роде [1] определил эту границу как влажность разрыва водных капиллярных связей ( $W_{врк}$ ,  $W_{min}$ ) (рисунок 1, линия 2). С другой стороны, наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ ) здесь выступает как верхняя граница оптимальной увлажненности деятельного почвенного слоя (рисунок 1, линия 1). Таким образом, если динамика текущих почвенных влагозапасов ( $W_{oi}$ ) будет отвечать максимальному водопотреблению (рисунок 1, линия 7- для многолетних трав), при условии

$$W_{врк} \leq W_{oi} \leq W_{нв}, \quad (1)$$

то урожай сельскохозяйственных культур, при прочих равных условиях, будет максимальным. В критические периоды (фазы развития растений) влажность почвы должна быть близкой

6. Аверьянов А.П. Возможности прогнозирования запасов влаги в почве по влажности верхних почвенных горизонтов// Эксплуатация гидромелиоративных систем и сельскохозяйственное водоснабжение/ Тр. МГМИ. Том 67, 1980.-С.81-94.
7. Олейник Р.Н., Мельничук С.И., Рогатенко А.Д. О возможности определения влагозапасов почвы в расчетных слоях по влагозапасам на репрезентативной глубине// Тр. Укр. НИИ Госкомгидромета, 1980. Вып. 182.- С.89-94.
8. Кузьмичев Д.С. О глубине и оптимальном количестве точек измерения влажности почвы на орошаемых объектах// НТИ по мелиорации и водному хозяйству, 1980, №1.-С.20-24.
9. Емельянов В.А., Маслов В.П. Исследование распределения влагозапасов по профилю орошаемых почв// Почвоведение. - 1984, №10.-С.108-112.
10. Когутотов С.Г. Контроль влагозапасов в почве и использование датчиков влажности// Гидротехника и мелиорация.- 1987, №2.-С.55-59.
11. Материалы гидрометеорологических наблюдений. Агрогидрологические свойства почв Белорусской ССР.- Мн.: 1977.- 333с.
12. Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Методические указания по аналитической оценке почвенно-гидрологических констант в эколого-мелиоративных целях. - Брест: БПИ, 1996.-31с.
13. Волчек А.А., Макаревич В.А. Определение водно-физических свойств почв при ограниченности информации // Научно - техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), 1986, №9.-С.15-17.

к ( $W_{нв}$ ), но в отдельные стадии вегетации возможно снижение текущей влажности почвы ( $W_{oi}$ ) до значений, близких к ( $W_{врк}$ ). Влажность корнеобитаемого слоя почвы на практике удерживается в некотором среднем (для данной фазы развития культуры) диапазоне (рисунок 1, линия 3), который может быть определен как

$$V_{oi} = \frac{W_{max_i} + W_{min_i}}{2 \cdot W_{max}} \approx \frac{W_{нв} + W_{врк}}{2 \cdot W_{нв}} \quad (2)$$

Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (рассчитанный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от целого ряда случайных факторов, можно с достаточной степенью достоверности при построении гидрографа использовать методы математической статистики. Как известно, наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рисунок 1, кривая 4), который может служить основой в процессе моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки, с использованием статистических методов, типовых (обеспеченных) гидрографов влагозапасов расчетного почвенного слоя (рисунок 1,

**Валуев Владимир Егорович.** Профессор каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

**Волчек Александр Александрович.** Доцент каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

**Мешик Олег Павлович.** Старший преподаватель каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

*Брестский политехнический институт (БПИ). Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.*

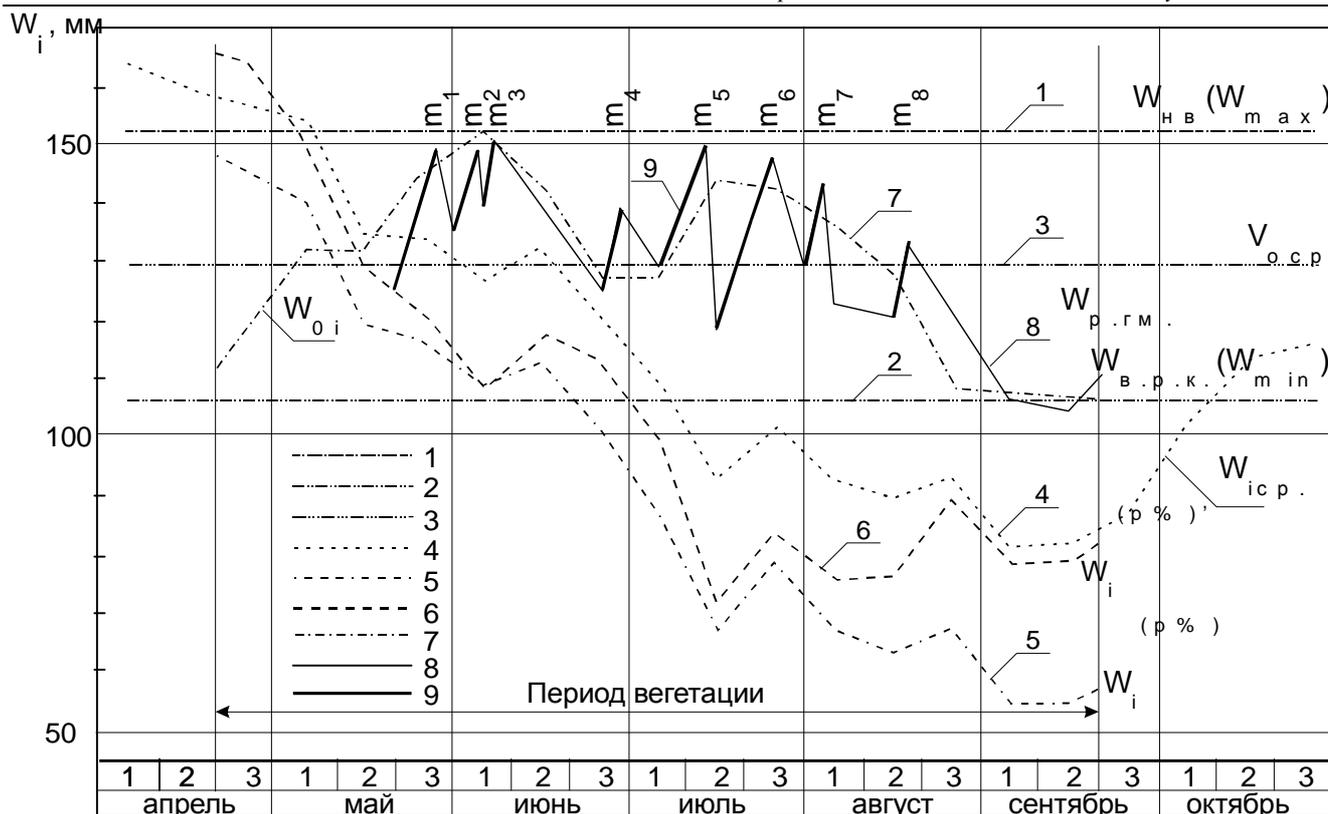


Рисунок 1. Динамика влагозапасов в деятельном слое (0,5 м) суглинистых почв (п. Пинск):

1. – наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ );
2. – влажность разрыва капиллярных связей ( $W_{врк}$ );
3. – средняя за вегетацию относительная влажность ( $V_{оср}$ );
4. – средняя многолетняя ( $P=50\%$ ) влажность ( $W_{иср}$ );
5. – равнообеспеченная ( $P=75\%$ ) влажность ( $W_i^{p\%}$ );
6. – скорректированная по реальному ( $P=75\%$ ) году влажность ( $W_i^{p\%}$ );
7. – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимальности ( $W_{oi}$ );
8. – влажность почвы в межполивной период ( $W_{п.г.м.}$ );
9. – поливная норма ( $m_i$ ), мм.

кривая 5).

В настоящее время предлагаются разнообразные модели, описывающие динамику почвенных влагозапасов с той или иной степенью дискретности и точности, но для практических целей наиболее приемлем воднобалансовый метод, обеспечивающий степень дискретности - месяц, декада, пентада. В общем виде уравнение водного баланса записывается как

$$W_{ki} = W_{Hi} + X_i - E_{0i} - Y_i + G_i - J_i, \quad (3)$$

где  $W_{ki}$ ;  $W_{Hi}$  – запасы влаги, соответственно, на конец и начало расчетного интервала времени, мм;  $X_i$  – сумма атмосферных осадков за расчетный интервал времени, мм;  $E_{0i}$  – оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры за тот же период, мм;  $Y_i$  – поверхностный сток, мм;  $G_i$  – грунтовая составляющая водного баланса расчетного слоя почвы, мм;  $J_i$  – инфильтрация почвенной влаги в более глубокие слои из зоны аэрации, мм.

Как правило, уравнение (3) при расчетах по средним многолетним величинам балансовых элементов используется с некоторыми допущениями: не учитывается величина поверхностного стока ( $Y_i$ ), т.к. для средних многолетних условий в период вегетации поверхностный сток наблюдается довольно редко; не учитывается также инфильтрационная составляющая влагообмена с нижележащими слоями почвогрунтов ( $J_i$ ).

В противном случае, эти расходные элементы ( $\Delta$ ) суммарно будут оцениваться как

$$\Delta = (Y_i + J_i) = W_{нв} - W_{кв} \text{ при } W_{ki} \geq W_{нв}, \quad (4)$$

где  $W_{нв}$  – полная влагоемкость расчетного слоя почвы, мм.

Как показывают многочисленные исследования, распределение вероятностей величин влажности почвы подчиняется нормальному закону и определяется двумя параметрами (средним многолетним значением -  $W_{иср}$ ; коэффициентом вариации -  $C_{vi}$ ), а обеспеченные величины влагозапасов ( $W_i^{p\%}$ ) могут рассчитываться по схеме

$$W_i^{p\%} = W_{иср} \cdot (C_{vi} \cdot \Phi_{p\%} + I), \quad (5)$$

где  $\Phi_{p\%}$  - нормированные отклонения ординат кривой (расчетной обеспеченности) от среднего многолетнего значения.

Исследования временной изменчивости величин влажности почвы, полученных экспериментальным путем за короткие интервалы времени, показали, что коэффициент вариации ( $C_{vi}$ ) можно достаточно точно определять по зависимости [2]

$$C_{vi} = \lambda \cdot \left( \frac{W_{нв}}{W_{иср}} + \frac{W_{нв}}{W_{нв}} \right), \quad (6)$$

где  $\lambda$  - эмпирический коэффициент, зависящий от влагоемкости почвы и естественной ее увлажненности.

При этом, величина ( $\lambda$ ) определяется как

$$\lambda = A \cdot W_{не} + B, \quad (7)$$

где  $A, B$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от мощности расчетного почвенного слоя (для 0,5 – метрового слоя, соответственно, равны 0,0021; 0,11).

Определяя влажность деятельного слоя почвы за вегетационный период в характерные годы, необходимо учитывать асинхронность хода рассчитанных (рисунок1, кривая 5) обеспеченных значений почвенных влагозапасов ( $W_i^{p\%}$ ) с реальным их ходом в год той же обеспеченности ( $W_i^{(p\%)}$ ) (рисунок1, кривая 6). Мера асинхронности определяется неадекватностью соотношений естественных ресурсов тепла и влаги в конкретные расчетные интервалы времени и в целом за период вегетации растений.

Поэтому, влажность почвы ( $W_i^{p\%}$ ), полученная для характерных лет по уравнению (5), требует корректировки с учетом реального ее хода в аналогичном реальном году расчетной обеспеченности ( $W_i^{(p\%)}$ ).

Схематизируя внутригодовое распределение выявленных невязок, надо исходить из наличия критических периодов (фаз) развития культур, в которые они наиболее чувствительны к колебаниям почвенных влагозапасов.

Скорректированные значения влажности почвы ( $W_i^{(p\%)}$ ) любой обеспеченности оцениваются по выражению

$$W_i^{(p\%)} = W_i^{p\%} - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{p\%} \cdot (1 - \alpha_w(P)) \cdot (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}{\sum_{i=1}^n (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})} \quad (8)$$

где  $K_{b(max)}^{p\%}$  – максимальное декадное значение коэффициента водопотребления (биологического, биоклиматического и т.п.)  $P\%$  – ной обеспеченности;  $K_{b(i)}^{p\%}$  – значение коэффициента водопотребления той же обеспеченности за конкретную декаду ( $i$ );  $\alpha_w(P)$  – коэффициент перехода от значений влажности почвы ( $W_i^{p\%}$ ) к скорректированным ее значениям ( $W_i^{(p\%)}$ ).

Анализ асинхронности обеспеченностей влажностей почвенных влагозапасов, в смежных интервалах осреднения, позволил выявить эмпирическую зависимость для определения переходного коэффициента ( $\alpha_w(P)$ )

$$\alpha_w(P) = \left( \left( 0,915 \cdot \exp\left(\frac{26}{W_{не}}\right) \right) - \alpha_t \cdot \exp\left(\frac{\beta_t}{W_{не}}\right) \cdot P \right)^{-1}, \quad (9)$$

где  $\alpha_t$  и  $\beta_t$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от продолжительности периода вегетации. Например, в зоне неустойчивого естественного увлажнения для периода май-август ( $\alpha_t^{V-VIII} = 0,047$ ,  $\beta_t^{V-VIII} = 202$ ); для периода апрель-октябрь ( $\alpha_t^{IV-X} = 0,084$ ,  $\beta_t^{IV-X} = 152$ ).

Таким образом, можно получить расчетный гидрограф влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы любой обеспеченности с учетом биологических особенностей возделываемой культуры. Полученный гидрограф может быть использован как стратегический компонент управления режимами почвенных влагозапасов на стадии проектирования и эксплуатации

гидромелиоративных систем, при управлении линейными и сетевыми сооружениями.

При этом, реализуются различные типы режимов гидромелиораций (увлажнительный, увлажнительно-промывной, ирригационно-возможный, хозяйственно-возможный), которые можно дополнить технически-возможным и экологически-необходимым. При надлежащем хозяйственно-экономическом обосновании, используемый в конкретных условиях, эксплуатационный режим гидромелиораций можно назвать "рациональным" [2]. Отличительной чертой разрабатываемого рационального режима гидромелиораций является присущая ему и соответствующим образом обоснованная динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в конкретные фазы развития растений ( $W_{р2mi}$ ) (рисунок1, линия 8).

Наличие дефицитов ( $D_i$ ) или избытков ( $U_i$ ) водного баланса ( $ВВ$ ) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени (для большинства сельскохозяйственных культур – декада) можно установить из соотношений

$$D_i \cdot (H_i)ВВ = \begin{cases} W_i - W_{не}, & \text{если } W_i > W_{не} - \\ & \text{требуется осушение;} \\ 0, & \text{если } W_{не} \geq W_i \geq W_{врк} - \\ & \text{гидромелиорации не} \\ & \text{требуются;} \\ W_i - W_{врк}, & \text{если } W_i < W_{врк} - \\ & \text{требуется орошение.} \end{cases} \quad (10)$$

Поэтому, при разработке режимов гидромелиораций водохозяйственная задача сводится к объективному описанию естественного внутригодового хода почвенных влагозапасов в деятельном слое ( $W_i^{(p\%)}$ ) (рисунок1, кривая 6), моделированию рационального для конкретных условий хода декадных значений влажностей почв ( $W_{р2mi}$ ) (рисунок1, линия 8) с установлением, при этом, неизбежных диспропорций ( $\pm m_{ip\%}$ ) и путей их ликвидации за счет совмещения кривых (6) и (7) в одну линию (рисунок1, линия 8-9).

Декадные значения дефицитов (избытков) водного баланса корнеобитаемого слоя почвы ( $\pm m_{ip\%}$ ) находятся из соотношения

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)} - W_{0i}, \quad (11)$$

где  $W_i^{(p\%)}$  – фактическая (истинная) влажность почвы, причем в условиях гидромелиорации это значение не должно опускаться ниже нижнего оптимального уровня, т.е. ( $W_i^{(p\%)} \geq W_{врк}(W_{min})$ );  $W_{0i}$  – оптимально потребные почвенные влагозапасы, обеспечивающие оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры.

Почвенные влагозапасы под сельскохозяйственной культурой необходимого уровня оптимальности ( $W_{0i}$ ) (рисунок1, кривая 7) задаются соответствующим процентом обеспеченности, рациональным для данного режима гидромелиораций ( $W_{0i} = W_{р2mi}$ ); тогда выражение (11) примет вид

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)} - W_{р2mi}, \quad (12)$$

где  $W_{р2mi}$  – рациональное для данного типа режима гидромелиораций значение почвенной влажности (соответствующей обеспеченности).

При этом, решается задача наиболее полного копирования линией ( $W_{р2mi}$ ) (рисунок1, линия 8) хода почвенных влагозапасов заданного уровня оптимальности, отвечающего опти-

мальному водопотреблению ( $W_{oi}$ ) (рисунок1, кривая 7), что осуществляется через мелиоративные воздействия соответствующими нормами ( $m_i$ ) (рисунок1, линия 9) в сроки, приуроченные к моментам значительных расхождений кривой (7) и линии (8) (рисунок1). В принципе, при регулировании водного режима почв мелиоративной нормой ( $m_i$ ) (рисунок1, линия 9) в сочетании с естественными почвенными влагозапасами ( $W_i^{(p\%)}$ ), формируется рациональная динамика почвенной влажности ( $W_{p2mi}$ ).

Тенденция изменения естественных почвенных влагозапасов ( $W_i^{(p\%)}$ ) должна быть учтена при моделировании рационального их хода в межполивной период ( $W_{p2mi}^k$ )

$$W_{p2mi}^k = \frac{W_{p2mi}^H \cdot (2 \cdot W_{ki}^{(p\%)} - X_i) + X_i \cdot (W_{ni}^{(p\%)} + W_{ki}^{(p\%)})}{2 \cdot W_{ni}^{(p\%)} + X_i} \quad (13)$$

где  $W_{p2mi}^H$  – влажность почвы на начало расчетного периода или сформированная в результате проведенного полива (рисунок1, линия 8);  $W_{p2mi}^k$  – влажность почвы на конец расчетного периода или первого после полива расчетного интервала времени (рисунок, линия 8);  $W_{ni}^{(p\%)}$  и  $W_{ki}^{(p\%)}$  – фактические (истинные) влажности почвы, соответственно, на начало и конец расчетного периода (рисунок1, кривая 6);  $X_i$  – прогнозируемые атмосферные осадки на соответствующий расчетный период.

Поливные нормы ( $m_i$ ) получаются графически в результате оптимизации почвенных влагозапасов ( $W_{p2mi}$ ) (рисунок1, линия 8-9). Проекция наклонной линии (9) на абсциссу времени зависит от площади орошаемого поля, поливной нормы, метода орошения и способа полива, впитывающей способности почв и увязанной с ней интенсивности дождя используемых дождевальными устройствами.

Оценка экологических последствий проводимых поливов осуществляется с использованием следующего алгоритма [3]

$$U = \sum_{i=1}^n \begin{cases} k_1(m) \cdot [W_{p2mi} - W_{max}], & \text{если } W_{p2mi} > W_{max}; \\ 0, & \text{если } W_{min} \leq W_{p2mi} \leq W_{max}; \\ k_2(W) \cdot (W_{min} - W_{p2mi}), & \text{если } W_{p2mi} < W_{min}, \end{cases} \quad (14)$$

где  $U$  – ущерб от переувлажнения почвы в процессе полива (эрозия, вынос питательных веществ, потери поливной воды и т.д.), а также от чрезмерного ее просыхания перед поливом (недобор урожая, снижение эффективности орошения и т.д.);  $k_1(m)$ ,  $k_2(W)$  – показатели ущерба, соответствующие избыткам / недостаткам почвенных влагозапасов.

Известно, что сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.), как правило, чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения экологически безопасного режима увлажнения (орошения), необходим оперативный инструментальный контроль, динамики почвенных влагозапасов. Однако, реализовать эту задачу с малыми затратами с учетом фактической пестроты свойств поля, очень затруднительно. Оперативно и достаточно полно представить влажностную картину сельскохозяйственного поля, можно лишь, используя материалы полевых исследований совместно с методами математического моделирования. При таком подходе, необходимо: установить количество опытных точек в

фактических границах сельскохозяйственного поля, требуемое для математического моделирования почвенных влагозапасов; определить координаты точек, в которых следует оперативно измерять влажности почвы и которые, в свою очередь будут репрезентативными или характерными, исходя из наиболее полного учета совокупности свойств рассматриваемого поля; принять оптимальную для возделываемой сельскохозяйственной культуры и временного интервала влажность почвы или гидромелиоративную норму (поливную, норму осушения), представительную в целом для поля; обосновать репрезентативную глубину установки датчика (взятия проб) с целью оценки влажности расчетного почвенного профиля. В ряде нормативных документов косвенно оговаривается необходимое количество опытных точек на один километр квадратный мелиорируемой площади, в зависимости от масштаба съемки, но, при этом, отсутствуют указания на представительный, в каждом конкретном случае, объем выборки ( $n$ ) и допустимую точность конечного результата. Нами предполагается, что влажность почвы - случайная величина, и ее возможные значения распределяются на изучаемой территории непрерывно.

Вероятность события ( $P$ ) той или иной случайной величины ( $W$ ) меньше некоторой текущей переменной ( $w$ ), однако, их общие свойства можно охарактеризовать функцией распределения случайной величины ( $W$ )

$$F(W) = P(W < w). \quad (5)$$

Функция -  $F(W)$  является интегральной характеристикой распределения случайных величин почвенно-гидрологических констант или фактических влажностей почвы в границах поля (севооборота). Производная от функции ( $F(W)$ ) называется плотностью ее распределения -  $f(W)$ . Вероятность попадания случайной величины ( $W$ ) в некоторый интервал  $[a, b]$  выражается формулой

$$P(a < W < b) = \int_a^b f(W) dW. \quad (16)$$

Для генетически однородной совокупности, случайная величина ( $W$ ) часто подчиняется нормальному закону распределения вероятностей, при котором плотность распределения ( $f(W)$ ), функция распределения ( $F(W)$ ) и нормированные отклонения ( $t$ ) находятся из выражений [4]:

$$f(W) = (2\pi)^{-0,5} \exp(-t^2 / 2); \quad (17)$$

$$F(W) = (2\pi)^{-0,5} \int_{-\infty}^t \exp(-t^2 / 2) dt; \quad (18)$$

$$t = (W - w)^2 / \delta^2. \quad (19)$$

Математическое ожидание ( $O$ ), дисперсия ( $\sigma^2$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $S_{cp}$ ) рассчитываются по стандартным методикам.

Влажности почвы ( $W_{hi}$ ) для поля, в целом, представляют собой бесконечную генеральную совокупность. В процессе полевых изысканий и исследований должна ставиться задача получения выборочной совокупности, обладающей полнотой всех свойств генеральной совокупности. К выборочному методу применима центральная предельная теорема, записываемая в виде [4]

$$P = [(\bar{W} - \bar{w}) < t\delta n^{-0,5}] = F(t) = (2\pi)^{-0,5} \int_{-t}^t \exp(-t / 2) dt \quad (20)$$

где  $n$  - число определений (объем выборки). Из теоремы следует, что, при  $(n \rightarrow \infty)$ , вероятность разности  $(\bar{W} - \bar{w})$ , в пределах  $(\pm \delta n^{-0,5})$ , равна  $(F(t))$ .

Случайная выборка осуществляется следующим образом. Вся мелиорируемая площадь разбивается на квадраты, полностью входящие в принятые границы каждого поля. В ходе математической интерпретации данной операции вместо вероятностного пространства

$\{\Omega, F, P\}$  рассматривается его конечное подпространство  $\{\bar{\Omega}, \bar{F}, \bar{P}\}$  с множеством элементарных событий  $(W_i)$

$$\bar{\Omega} = \{W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_l\}, \quad (21)$$

где  $\bar{\Omega}$  - случайная выборка влажности,  $i=1, 2, \dots, i, \dots, l$ ;  $i$  - номер квадрата;  $l$  - число квадратов;  $W_i$  - значение влажности почвы, определяемой в центре соответствующего квадрата. Числовая функция от элементарного события  $(W)$  представляется случайной величиной

$$F(W=f(W)). \quad (22)$$

При реализации данного подхода считается, что в пределах каждого квадрата значение конкретной почвенно-гидрологической константы  $(W_{jh})$  или влажности почвы  $(W_{hi})$  постоянно. Число квадратов  $(l)$  принимается в зависимости от характера поля и выращиваемой культуры. Объем выборки назначается с учетом экономического фактора. С другой стороны, это следует из предельной центральной теоремы, представляющей выборку повышается с увеличением количества проб, что, в свою очередь, удорожает экспериментальные работы. При случайном отборе объем выборки может быть установлен по формуле

$$n = t^2 \delta^2 (\bar{W} - \bar{w})^{-2}. \quad (23)$$

Точность определения средней влажности сельскохозяйственного поля, повышает вероятность достижения программируемого урожая на конкретном участке земель. Практика показывает, что расчетные урожаи сельскохозяйственных культур, исходя из запасов продуктивной влаги и коэффициентов водопотребления по почвенным разностям и внутри их, значительно колеблются. Известно также, что при назначении поливных норм с относительной ошибкой  $(\geq \pm 10\%)$  существенно снижается урожайность большинства культур. Доля дополнительного чистого дохода при мелиорации земель  $(\Delta D)$ , получаемая за счет повышения качества полевых почвенно-гидрологических изысканий и, следовательно, - точности оценки фактических влагозапасов, нами определяется как

$$\Delta D = (S(\Delta_i Y') - C)A - E_n \cdot S_o n, \quad (24)$$

где  $S(\Delta_i Y') - C$  - часть дополнительного чистого дохода при мелиорации земель, получаемая с единицы площади за счет 100% - ной обеспеченности конкретного объекта материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований  $(F(t)=I)$ ;  $S(\Delta_i Y')$  - стоимость собираемой, при этом, дополнительной сельскохозяйственной продукции;  $C$  - соответствующие дополнительные затраты на уборку прибавочного урожая  $(C \neq 0, IS(\Delta_i Y'))$ ;  $A$  - мелиорируемая площадь - нетто;  $S$  - стоимость единицы продукции;  $\Delta_i Y'$  - средняя проектная прибавка урожая на единицу площади за счет полной (100% - ной) обеспеченности объекта мелиораций материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований;  $\Delta_i$  - соответствующее приращение урожая на мелиорированных землях за счет 100% - ной обеспеченности объекта материалами полевых почвенно-гидрологических изыска-

ний и исследований;  $Y'$  - проектная урожайность;  $E_n \cdot S_o n$  - нормативная стоимость дополнительных изыскательских, связанных с экспериментальным определением почвенных влагозапасов на мелиорируемом поле;  $E_n$  - нормативный коэффициент общей (абсолютной) народнохозяйственной эффективности капитальных вложений в мелиорацию в зависимости от специализации хозяйств;  $S_o$  - стоимость определения влажности почвы в расчете на одну изыскиваемую точку;  $n$  - число точек (определений) на всей мелиорируемой площади.

Оптимальный объем экспериментальных работ по почвенно-гидрологическим изысканиям и исследованиям определяется из условия максимума функции (24), т.е. при  $d\Delta D/dt=0$ . Причем, предполагается, что без учета пестроты свойств почвенного покрова и, следовательно, при грубо приближенной оценке влагозапасов  $(W_{hi})$  можно получить до половины (50%) дополнительной продукции, относящейся к мелиоративным воздействиям  $(F(t)=0)$ . При полном учете на стадии изысканий и исследований (следовательно, в дальнейшем - при управлении водным режимом) пестроты водно-физических свойств почв, мелиоративные воздействия могут дать, практически, 100% - ую прибавку урожая  $(F(t)=I)$ , связанную с их осуществлением. С учетом высказанных замечаний, используя также зависимость (23), преобразуем выражение (24)

$$\Delta D = 0,9 S \Delta Y' \circledast F(t) A - E \cdot S_o t^2 \delta^2 (\bar{W} - \bar{w})^{-2}. \quad (25)$$

Дифференцируя выражение (25) по  $(t)$ , после некоторых преобразований, получим

$$\exp(-t^2/2) - \beta t = 0, \quad (26)$$

где  $\beta = E \cdot S_o \delta^2 (2\pi)^{0,5} / ((\bar{W} - \bar{w})^2 0,9 S \Delta Y' \circledast A)$ .

Решение уравнения (25) рекомендуется осуществлять графически. До изысканий значения величин  $(\delta)$  и  $(\bar{W} - \bar{w})$  неизвестны, и предварительно задаются. Далее, решается, относительно  $(t)$ , трансцендентное уравнение (26), для которого, при заданном  $(\delta / (\bar{W} - \bar{w}))$ , по формуле (23) или соответствующим графикам, предварительно устанавливается количество экспериментальных точек  $(n')$ . Фактическая дисперсия и средняя величина выборки находятся по материалам собственно изысканий, если  $(n' < n)$  - принятая выборка представительная, в противном случае - расширяется объем изысканий.

При технико-экономическом обосновании опорной сети точек, с использованием материалов полевых изысканий, строятся карты гидроизоплет почвенных влагозапасов и моделируются статистические структуры полей влажности деятельного слоя почв в различные по естественному увлажнению годы. При совместном анализе карт гидроизоплет почвенно-гидрологических констант и структуры полей влажности почв в различные периоды, устанавливается местоположение характерных (реперных) точек, в которых влажность почвенного слоя количественно равна среднему ее значению в границах каждого сельскохозяйственного поля. Эти точки группируются вдоль гидроизоплет, близкой к средневзвешенному значению одной из основных почвенно-гидрологических констант - наименьшей влагоемкости почв конкретного сельскохозяйственного поля.

Изложенный подход рекомендуется использовать для объективной и качественной оценки естественного водного режима почв на сельскохозяйственных угодьях при оперативном формировании мелиоративных воздействий в процессе управления сооружениями осушительно-увлажнительных систем Полесья.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Роде А.А. Водный режим почв и его регулирование. М.: АН СССР, 1963.-120 с.
2. Волчек А.А., Валуев В.Е., Юрченко Н.Т. Моделирование динамики почвенных влагозапасов в условиях гидромелиорации // Совершенствование и реконструкция мелиоративных систем. Тр. ВНИИГиМ, т.78.-М., 1990.-С.46-55.
3. Лихацевич А.П. Пути повышения эффективности и экологической безопасности дождевания// Экологические аспекты мелиорации. Сб. науч. трудов. -Минск, 1990.-С.34-42.
4. 4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1969.-576с.

УДК 556.512

**Валуев В.Е.****ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В МАЛЫХ ПРОЕКТАХ ПО ПРИГРАНИЧНОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ**

Проблемы защиты природы, улучшения экологической ситуации, рационального использования природных ресурсов должны находить свое разрешение, прежде всего, в рамках Программы действий по охране окружающей Среды (ПДО-ОС), являющейся основой для деятельности национальных правительств и местных властей, Комиссии Европейских Сообществ, международных учреждений, а также частных инвесторов, работающих в конкретном приграничном регионе.

Практическую реализацию проектов типа “Свободная экономическая зона - Брест” (“СЭЗ - Брест”), “Еврограница в Бресте” необходимо тесно увязывать с разрешением назревших и перспективных природоохранных проблем научного, хозяйственно – экономического и социального характера, актуальных для Брестского региона, в целом.

В настоящей работе дается предварительная прогнозная оценка изменения гидрологического режима рек Лесная, Западный Буг, Мухавец и водного баланса территории Белорусского Полесья, где предполагается осуществить проекты “СЭЗ - Брест” и “Еврограница в Бресте”.

Суммарные водные ресурсы в реальные годы на речных водосборах Полесья, включая территории “СЭЗ - Брест” и “Еврограница в Бресте”, формируются, главным образом, атмосферными осадками, частично, - сезонными приращениями влагозапасов в аэрированном слое почвогрунтов, а также положительным сальдо грунтовых вод, которые питаются теми же осадками, перераспределенными во времени из-за количественного несоответствия ресурсов тепла и влаги в их годовом ходе. Основным источником атмосферной влаги для территории Беларуси, в целом, является Атлантический океан, и существенные изменения интенсивности влагопереноса происходят в направлении с запада на восток. На территории Полесья выявлены, объективно существующие определенные границы процессов синхронного формирования атмосферных осадков и речного стока (в атмосфере и на деятельной поверхности). В этих границах и на четко выраженных направлениях наиболее тесно связаны между собой балансовые характеристики речных водосборов, участвующие в процессе тепловлагообмена в системе: атмосфера, в целом, - приземный слой атмосферы - подстилающая (деятельная) земная поверхность - почвогрунты - грунтовые (подземные) воды - водотоки (водоемы). Любое воздействие на составляющие этого процесса отражается в естественной структуре балансов тепла и влаги на исследуемой территории, в целом. Степень антропогенного влияния зависит от меры этих воздействий и удаленности от условно зафиксированного центра (например, от Бреста).

Комплексная оценка гидролого-климатических условий и пространственно - временной анализ статистической структуры полей тепловоднобалансовых элементов дают возмож-

ность научно обосновать границы природоохранной (водоохранной) зоны и наиболее вероятную территорию, на которую, постоянно, и, особенно, в чрезвычайной ситуации будет влиять хозяйственная деятельность в Брестском регионе. В связи с этим, природоохранные мероприятия должны, в целом, охватывать бассейны рек Западный Буг и Припять. Кроме того, не исключены антропогенные воздействия промышленных узлов “СЭЗ - Брест” и “Еврограницы в Бресте” через речную сеть на акватории Балтийского и Черного морей. Исходя из тенденции синхронных колебаний факторов, определяющих естественную увлажненность земель, и учитывая тесную связь почвенных влагозапасов со строительными свойствами почвогрунтов, правомерно рассмотрение деформаций грунтов оснований и осадок фундаментов искусственных сооружений при плановой застройке осваиваемой территории на фоне их связей с определяющими гидролого-климатическими показателями, как естественными, так и полувыведенными определенными трансформации за счет антропогенных (техногенных) воздействий.

Распределение атмосферных осадков по подстилающей поверхности Полесья происходит под воздействием общециркуляционных процессов атмосферы. Атмосферные движения имеют вихревой характер и отличаются нестационарностью. В результате вертикальной неоднородности атмосферы и перехода от одного слоя атмосферы к другому, промышленные выбросы и вредные испарения постоянно меняют направление и скорость переноса. Именно этим объясняется “пятнистость” загрязнения территории водосборов Беларуси химическими элементами, в т.ч. радионуклидами после Чернобыльской катастрофы. Количество выпадающих атмосферных осадков определяется рядом факторов (фоновых, региональных; местных, в т.ч. пока необъяснимой их части).

Для геометрического центра “Брест” среднее многолетнее значение (норма) атмосферных осадков составляет 661мм, из которых около 10% формируется за счет влияния местных факторов и до 45% годовой нормы (300мм) расходуется на инфильтрационное питание подземных вод. Усиливая неравномерность распределения кинетической энергии за счет промышленных выбросов и испарений в атмосферу на осваиваемой территории, возможно повлиять на местные факторы в формировании атмосферных осадков (до ±100мм), исказив установленную от создателя региональность, увеличив неравномерность их выпадения и нарушив закономерности инфильтрационного питания подземных водоносных горизонтов. Вектор этого влияния, направленный на периферию, составляет до 700 км от геометрического центра “Брест”. Производственные объекты должны равномерно распределяться по осваиваемой территории, их влияние на атмосферные процессы должно быть уравновешенным.

**Валуев Владимир Егорович.** Профессор каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.  
Брестский политехнический институт (БПИ). Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология