

5 ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

5.1 Гидролого-климатические показатели как количественные и качественные параметры регулирования водного режима почв

Дальнейшее развитие мелиораций тесно увязывается с разработкой схем комплексного использования и охраны водно-земельных ресурсов на водосборах крупных и средних рек, региональных и областных схем землеустройства и мелиоративного освоения сельскохозяйственных земель, в которых принимаются технические решения по рациональному использованию природных ресурсов на ближайшую перспективу, задается очередность выполнения соответствующих мелиоративных мероприятий. Определенным достижением в этом направлении явилась разработка и поэтапная реализация комплексной схемы использования и охраны водных и земельных ресурсов такого крупного региона, как Полесье. Причем, здесь выдержана ориентация на мелиоративные системы управляемые, многоцелевые и совершенные, обеспечивающие создание и поддержание оптимального водного, воздушного, питательного и теплового режимов почв для получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Мелиоративные системы в Белорусском Полесье, как показывают исследования, должны быть практически повсеместно, двустороннего действия, а их параметры необходимо устанавливать с учетом обеспечения водопотребления сельскохозяйственных культур, наиболее требовательных к водному режиму [15,32]. Такие параметры, безусловно, обеспечивают регулирование условий жизнедеятельности для всех культур, возделываемых в этой зоне, на период амортизационного срока системы. В принципе, интегральным показателем естественной увлажненности сельскохозяйственных земель является влажность почвенного слоя-среды обитания корневой системы растений, из которого они получают влагу, питательные вещества и др. В условиях мелиораций задаются и оперативно поддерживаются необходимые для культурных растений минимальные ($W_{\min}$) и максимальные ($W_{\max}$) уровни (режимы) влажности почв. К этому, в сущности, сводится смысл инженерных расчетов и выбора конструкции мелиоративной системы. Комплекс мелиоративных мероприятий направлен на всестороннее повышение плодородия почв, без нанесения ущерба прилегающим землям и угодьям, на максимальное сохранение органического вещества почвы. Известно, что получить плановый или программированный урожай не просто даже в условиях мелиорированных земель, т.к. урожай определяется большим комплексом факторов, которые находятся в динамичном и сложном взаимодействии друг с другом. При этом, свет, тепло, влага, питательные вещества не взаимозаменяемые и не компенсируются друг другом, а урожай растений всякий раз ограничивается лимитирующим на рассматриваемый момент времени фактором и может неуклонно повышаться только адекватно прогрессирующему плодородию почв. Наивысшая продуктивность земель достигается лишь при оптимальном и гармоничном соотношении всех фак-

торов роста растений. Исходя из агромелиоративной практики, следует отметить, что максимальное количество сельскохозяйственной продукции достигается на фоне изменяющейся во времени влажности корнеобитаемого слоя в диапазоне от наименьшей влагоемкости, как верхнего оптимального уровня ($W_{НВ}=W_{\max}$), до влажности разрыва капиллярных связей ($W_{ВРК}=W_{\min}$) - нижнего оптимального предела почвенных влагозапасов. Если $W_{НВ}$ получается как почвенно-гидрологическая константа при полевых изысканиях и исследованиях, то нижний порог оптимальной влажности корнеобитаемого слоя может быть ориентировочно назначен в зависимости от биологических особенностей культуры и физико-механических свойств почвы. Причем, характер изменения почвенных влагозапасов на протяжении периода вегетации в отмеченных выше пределах (от $W_{НВ}$ до $W_{\min}$) определяется водопотреблением культуры, погодными условиями, свойствами почво-грунтов и гидрогеологическими особенностями земель. В критические периоды влажность почвы должна быть близкой к $W_{НВ}$, но в ходе вегетации она может иметь значения, близкие также к $W_{ВРК}$. Так, для некоторых культур критические периоды приурочены к следующим фазам их развития: озимая и яровая пшеница - выход в трубку, налив зерна; гречиха - цветение; кукуруза - до и после выметывания метелки; зернобобовые - бутанизация, цветение; подсолнечник - образование корзинки, цветение; картофель - бутанизация, массовое клубнеобразование; сахарная свекла - развитие листьев, нарастание корнеплодов; многолетние травы - кущение, бутонизация и цветение после укоса; овощи - всходы, цветение, созревание; культурные пастбища - в течение вегетации. Исходя из установленных пределов [43], в среднем за вегетационный период влажность корнеобитаемого слоя почвы в долях от $W_{НВ}$ составляет (табл.5.1)

$$V_0 = \frac{W_{\max} + W_{\min}}{2 \cdot W_{\max}} = \frac{W_{НВ} + W_{ВРК}}{2 \cdot W_{НВ}}, \quad (5.1)$$

Таблица 5.1 Относительная влажность корнеобитаемого слоя почвы (V_0) в зависимости от $W_{НВ}$ и $W_{ВРК}$

Культура	Средняя за вегетацию относительная влажность (V ₀)			Расчетная мощность корнеобитаемого слоя, м
	Тип почвы по механическому составу			
	тяжелые	средние	легкие	
Озимая и яровая пшеница, просо	0,875	0,850	0,825	1,0
Сахарная свекла	0,900	0,875	0,850	0,7...0,8
Кукуруза	0,875	0,850	0,825	1,0
Многолетние травы	0,875	0,850	0,800	1,0
Картофель	0,875	0,850	0,825	0,7...0,8
Овощи	0,900	0,875	0,850	0,6...0,8
Зернобобовые	0,875	0,850	0,825	0,7...0,8

В условиях избыточного естественного увлажнения, мелиоративные мероприятия направляются на осушение сельскохозяйственных земель. При осушении водно-воздушный режим почвы (режим осушения) призван создать необходимые условия для

получения проектной урожайности сельскохозяйственных культур. Режим осушения, при этом, характеризуется следующими показателями: влажностью и аэрацией почвы, продолжительностью затопления поверхности почвы и подтопления ее верхних слоев в различные периоды вегетации, глубиной залегания подземных вод [3, 43, 50]. Так, влажность почвы в корнеобитаемом слое в вегетационный период должна составлять: для зерновых культур - 55...75% полной влагоемкости ($W_{\text{пв}}$); для овощей, картофеля и корнеплодов - 60...80%, а для трав - 65...85% от $W_{\text{пв}}$. Кроме того, в границах осушительной системы должна обеспечиваться проходимость сельскохозяйственной техники при проведении комплекса полевых работ. Процесс формирования естественной влажности корнеобитаемого (деятельного) слоя почвы и, естественно, зоны аэрации синтезируют в себе климатические, почвенно - литологические, геологические, гидрогеологические и прочие условия района и объекта гидромелиораций. Обобщенную мелиоративную характеристику земель можно получить, исследовав тип водного питания (ТВП) или основные источники, обуславливающие их переувлажнение.

Динамика количественного изменения почвенных влагозапасов в реальных условиях водного питания может быть достаточно точно охарактеризована по результатам исследования водного баланса территории, в целом.

Почвенные влагозапасы на конкретном сельскохозяйственном поле являются производной от количества и динамики поступления в деятельный слой почвы влаги за счет выпадающих атмосферных осадков, почвенно-грунтовых, склоновых и намывных вод. Причем, количество влаги, аккумулируемой в почвенном слое, определяется соотношением между ее приходом и расходом на рассматриваемой территории за расчетный период. Осушительные мелиорации направлены на уменьшение приходной и увеличение расходной части водного баланса, и, прежде всего, на увеличение поверхностного стока и оттока грунтовых вод путем искусственного дренирования территории. При питании земель почвенно-грунтовыми водами оптимальная влажность почвы обеспечивается через поддержание оптимальных глубин залегания их зеркала в пределах конкретного сельскохозяйственного поля. Оптимальная глубина залегания уровня подземных вод (УПВ) соответствует норме осушения (H), при которой обеспечиваются оптимальная влажность (W) и аэрация (A) - свободная порозность, определяемая как разность между пористостью (P) и ее влажностью

$$A = P - W \quad (5.2)$$

Оптимальная аэрация составляет 20...40% от пористости почвы. Следовательно, от 20 до 40% пор почвы в зоне аэрации должны быть свободны от влаги и заполнены воздухом (меньшая аэрированность - для трав, большая - для корнеплодов). При недостатке кислорода в почве (аэрация менее 15...20%) снижается интенсивность газообмена и разложения органического вещества, идут процессы его брожения, увеличения кислотности и оглеения, приводящие к снижению потенциального плодородия и, в итоге, уро-

жаев. Значения норм осушения (оптимальных глубин залегания подземных вод) можно получить на основании водно-балансовых расчетов или принять по практическим рекомендациям.

Причем, норма осушения, как и другие элементы режима мелиораций, должна быть оптимальной в критические для растений периоды. Так, при использовании земель под полевые, кормовые и овощные севообороты, в среднем за вегетацию, норма осушения для песчаных и супесчаных почв составляет 90 см, для связных минеральных почв и торфяников - 110 см. На сенокосах норма осушения, в среднем за вегетацию, в зависимости от механического состава почв принимается в пределах 60...80 см. В первый месяц вегетации на сенокосах норма осушения составляет 40...60 см, на пастбищах - 70...90 см. В период предпосевной обработки и уборки урожая нормы осушения на землях, используемых под полевые, кормовые и овощные севообороты, принимаются - 40...60 см. Причем, меньшие значения, приведенных выше норм осушения, характерны для песчаных и супесчаных почв, большие - для связных минеральных почв и торфяников.

При любом отклонении влажности почвы от оптимальной, растения страдают либо от недостатка, либо от избытка влаги. Задача, которую решают при мелиорации, состоит в том, чтобы, через непрерывное обеспечение V_{oi} по критическим периодам (в среднем декада) и в целом за вегетационный период, избежать лимитирования водопотребления сельскохозяйственных культур почвенной влагой и, следовательно, гарантировать, с этой стороны, наивысшую интенсивность фотосинтеза, предопределяющую, в свою очередь, максимальную конечную биомассу (урожайность).

Влажность корнеобитаемого слоя почв тесно связана также с явлением затопления осушаемых земель водами весенних паводков или летне-осенних дождей. Допускаемая продолжительность затопления осушаемых земель при использовании их в севооборотах, не включающих в себя озимых культур, устанавливается, исходя из обеспечения оптимальных для сельскохозяйственных культур сроков сева.

При наличии в севооборотах озимых культур, затопление осушаемых земель водами весенних паводков вообще не допускается. Предельные сроки весеннего затопления луговых трав могут быть приняты на основе действующих рекомендаций, хотя необходим учет региональных особенностей. Так, для клевера красного, клевера белого, ежи сборной, овсяницы красной предельный срок затопления 10 суток, тимофеевки луговой, мятлика лугового, овсяницы луговой, полевицы белой - 30 суток, а для канареечника тростникового - 60 суток. Для других луговых трав предельный срок весеннего затопления колеблется от 15 до 45 суток.

Отвод поверхностных вод с осушаемых земель в период летне-осенних дождей должен обеспечиваться: для зерновых культур в течение 0,5 сут., для овощей, силосных культур, корнеплодов - 0,8 сут, для многолетних трав - 1,0 сут. Кроме того, из корнеобитаемого слоя почвы в этот период избыточная влага отводится в строго лимитированные сроки. Для полевых, кормовых, овощных севооборотов и пастбищ максимальная про-

должительность стояния УПВ в пахотном слое - 1,5 сут., в корнеобитаемом слое - 5 суток, для сенокосов, соответственно по слоям, -3 и 7 суток.

Опыт показывает, что, исходя из требований к водно-воздушному режиму почв, регулирующая сеть должна эффективно обеспечивать отвод поверхностных и понижение УПВ на осушаемом массиве в следующие характерные (расчетные) периоды:

- от прохождения пика весеннего паводка до начала полевых работ;
- от прохождения пика весеннего паводка до начала вегетации трав (для пастбищ и сенокосов);
- в период выпадения летне-осенних дождей и уборки урожая.

По принципу действия регулирующая сеть, в этом случае, может быть подразделена на: закрытые дрены и открытые осушители, понижающие УПВ в требуемые сроки; закрытые и открытые собиратели, отводящие в расчетное время избыточные поверхностные воды.

Магистральные каналы, транспортирующие собиратели, открытые коллекторы, входящие в состав проводящей осушительной сети, предназначенной для приема воды из регулирующей и оградительной сетей и отвода ее в водоприемник, подвергаются гидравлическому расчету при расходах воды более $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, а также при меньших расходах, но когда уклон канала превышает 0,0005 - для песчаных, 0,003 - для суглинистых и 0,005 - для глинистых грунтов, составляющих его ложе.

Расчет каналов проводящей сети и естественных водотоков, являющихся водоприемниками осушительных систем, осуществляется в зависимости от характера использования сельскохозяйственных земель.

При использовании под полевые севообороты, пастбища и сенокосы участков земель, площадью до 2 тыс. га, проводящая сеть рассчитывается на пропуск расходов воды 10%-ной обеспеченности, при использовании земель под овощные севообороты и многолетние насаждения - 5%-ной обеспеченности. В каждом конкретном случае, расчетная обеспеченность расходов воды принимается в ходе технико-экономического сравнения вариантов. При этом, расчетными периодами являются : при использовании осушаемых земель под полевые севообороты с озимыми и многолетние насаждения - весенний и летне-осенний паводок; под все виды сельскохозяйственного использования земель - межливневый период.

В случае, когда расчетным периодом является период весеннего паводка, расчет каналов выполняется, исходя из условия пропуска расчетных расходов воды без затопления осушаемых земель.

Расчет каналов на расходы предпосевного периода и летне-осеннего паводка производится в увязке с работой регулирующей сети по созданию требуемого водно-воздушного режима почв, с учетом своевременного освобождения ее от подпора.

Изложенные выше требования к количеству и динамике почвенных влагозапасов по профилю, состоянию увлажнения поверхности сельскохозяйственного поля, особен-

ностям гидрологического режима мелиорируемых сельскохозяйственных земель и, увязанного с ним, гидравлического режима элементов гидромелиоративных систем в своей совокупности определили комплекс качественных и количественных параметров регулирования водного режима почв, зависящих, по сути, от гидролого - климатических, почвенно-мелиоративных и хозяйственных условий объекта мелиораций.

Комплексность подхода диктует необходимость использования единого метода оценки гидролого - климатических условий в границах водосборной площади, в целом, и земель, включенных в зону мелиорации, который бы давал возможность назначить основные регулирующие параметры.

5.2 Метод оценки гидролого-климатических условий объекта гидромелиораций

Естественным условиям свойственна большая пространственно-временная изменчивость влагообеспеченности используемых в сельскохозяйственном производстве земель. Однако, известны трудности накопления опытных данных, напрямую характеризующих естественную увлажненность сельскохозяйственных земель в ее динамике и развитии. Нами предлагается использовать расчетные режимы влаго - и теплообеспеченности, на фоне которых складываются свойственные данному району (массиву) условия гидромелиораций. Определение количественных характеристик этих условий лежит на путях комплексной оценки целого ряда гидролого - климатических показателей. Причем, такая оценка выполнена при использовании тепловоднобалансового подхода, дающего возможность рассмотрения балансов поверхностных и почвенно-грунтовых вод в их единстве с процессом формирования теплоэнергетических ресурсов климата данной территории. Принятый метод гидролого-климатических расчетов должен как можно полнее описывать взаимозависимости основных природных элементов водного и теплового балансов: общего увлажнения территории, влажности почвы и теплоресурсов, с одной стороны, и суммарного испарения, стока, а также суммарного теплообмена, затрат тепла на испарение - с другой [43].

Математическое моделирование водного баланса процесса влагообмена между земной поверхностью и атмосферой, исходя из закона сохранения материи, дает возможность произвести количественную оценку приходно-расходных статей, вскрыть динамику формирования почвенных влагозапасов.

На рис. 5.1 приведена, в общем виде, расчетная схема потоков влаги в зоне: атмосфера - подстилающая поверхность - почвогрунты. На принятой схеме использованы следующие обозначения: h_p - расчетный почвенный слой; $h_{гп}$ - глубина залегания грунтовых (подземных) вод; $h_{кк}$ - высота капиллярной каймы данного почвогрунта; X - сумма атмосферных осадков, то есть вся конденсационная влага, приходящая из атмосферы на земную поверхность; Z - суммарное испарение; W_n и W_k - запасы влаги в рассматриваемом слое почвы, соответственно, на начало и конец расчетного интервала времени; U_n и

U_p - приток на участок и отток с участка поверхностных вод; G_n и G_p - приток и отток внутрипочвенных вод в расчетном слое почвы (h_p); U_n и U_p - приток (подъем) почвенной влаги в расчетный слой почвы и отток (просачивание) из расчетного слоя почвы в нижележащий слой (водообмен между слоями почвы ($h_{гв}-h_p$) и h_p); P_n и P_p - приток и отток грунтовых вод; S_n и S_p - приток и отток внутрипочвенных вод в слое почвы между УПВ и расчетным слоем, то есть в зоне ($h_{гв}-h_p$); Q_n и Q_k - запасы влаги в слое почвы ($h_{гв}-h_p$) на начало и конец расчетного интервала времени; D_n и D_p - приток (подъем) грунтовых вод в зоне ($h_{гв}-h_p$) и отток воды (просачивание) из этого слоя почвы. В природе могут наблюдаться различные соотношения приходных и расходных статей водного баланса, проявляющиеся в следующих частных случаях сочетания глубины залегания грунтовых вод ($h_{гв}$), высота капиллярной каймы данного грунта ($h_{кк}$) и расчетного слоя почвы (h_p):

$$\left. \begin{array}{ll} h_p < h_{гв} > h_{кк} + h_p; & h_p = h_{гв} > h_{кк}; \\ h_p < h_{гв} = h_{кк} + h_p; & h_p = h_{гв} = h_{кк}; \\ h_p < h_{гв} < h_{кк} + h_p; & h_p = h_{гв} < h_{кк}; \end{array} \right\}. \quad (5.3)$$

Для всего почвенного профиля (от поверхности земли до водоупора) уравнение водного баланса имеет вид

$$X + (W_H - W_K) + (Q_H - Q_K) = Z + (Y_{П} - Y_P) + (G_{П} - G_P) + (S_{П} - S_P) + (P_{П} - P_P). \quad (5.4)$$

Для летнего периода, когда вегетируют сельскохозяйственные культуры, доля внутрипочвенного и поверхностного стока незначительна, в сравнении с другими составляющими водного баланса, поэтому, уравнение можно записать в виде

$$W_{Ki} = W_{Hi} + X_i - Z_i \pm U_i. \quad (5.5)$$

От точности оценки атмосферных осадков (X_i), суммарного испарения (Z_i) и вертикального влагообмена (U_i) зависит, получим ли мы истинные величины и динамику формирования интегрального показателя естественной увлажненности - влажности почвенного слоя (W_{Hi} , W_{Ki}). Именно влажность почвы является определяющей при принятии решений, связанных с автоматизацией управления водным режимом и гидромелиоративной системой, в целом.

Известные трудности представляет оценка суммарного испарения (транспирации + физического испарения), т.к. перенос водяных паров с испаряющей поверхности непосредственно в атмосферу и по горизонтали зависит от строения и свойств этой поверхности, соотношения между балансовыми элементами в системе почвогрунты-растение-атмосфера и циркуляции приземных слоев воздуха.

Как показали наши исследования [6], а также Романенко А.М.[42] и др.[3, 18, 19, 25, 31, 53], для условий неустойчивого естественного увлажнения наиболее целесообразно использовать метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), разработанный школой Мезенцева В.С.

Важным является то, что данный метод основан на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов при использовании материалов массовых стандартных наблюдений по гидрометеорологической сети.

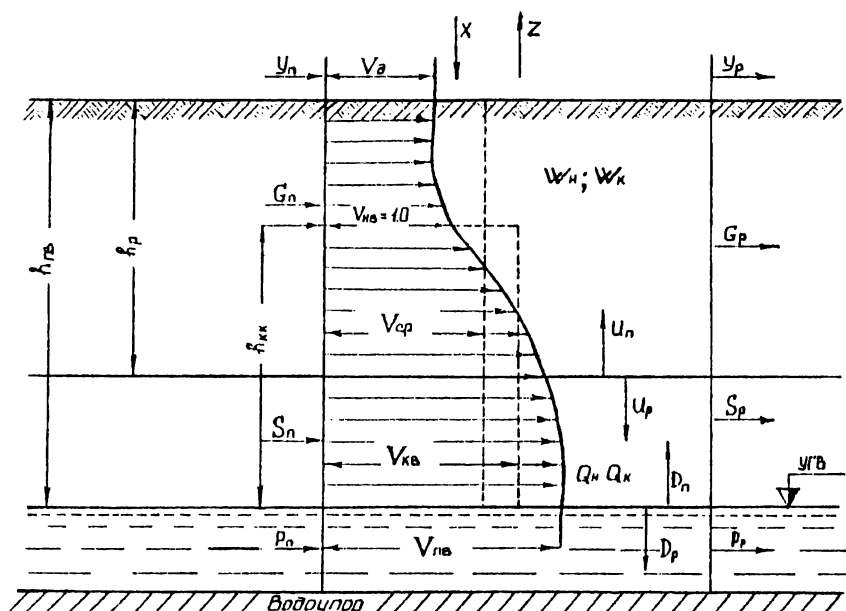


Рис. 5.1 Общая схема потоков влаги в деятельном слое почвы.

Суммарное испарение в методе ГКР за расчетный интервал времени определяется по системе уравнений:

$$Z_i = Z_{mi} \cdot (1 + V_{Cpi}^{-r \cdot n})^{-1/n}; \quad (5.6)$$

$$V_{Cpi}^r = \frac{(X_i + U_i) + V_{Hi}}{\frac{W_{HB}}{Z_{mi}} + V_{Hi}^{1-r}}; \quad (5.7)$$

$$V_{Ki} = V_{Hi} \cdot \left(\frac{V_{Cpi}}{V_{Hi}} \right)^r, \quad (5.8)$$

где Z_i - суммарное испарение, мм; Z_{mi} - максимально возможное испарение, мм; W_{HB} - значение наименьшей влагемкости деятельного слоя почвы, мм; V_{mi} , V_{ki} - влажность

деятельного слоя почвы, соответственно, на начало и конец расчетного периода в долях от $W_{\text{нв}}$; $V_{\text{ср}}$ - средняя, за расчетный период, влажность почвы в долях от $W_{\text{нв}}$; X_i - осадки, мм; U_i - грунтовая составляющая водного баланса, мм; g - параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов.

При расчетах за средний годовой цикл, необходимо добиться равенства относительной влажности расчетного почвенного слоя на начало первого расчетного промежутка времени (V_n) и на конец последнего (V_k).

Для оценки непрерывного ряда величин суммарного испарения за некоторый период времени (N лет) расчеты начинаются с произвольного начального значения относительной влажности почвы, к примеру, $V_1=1,0$. Зависимость (5.7) очень быстро, практически в третьем-четвертом внутригодовом промежутке времени, дает реальные значения влажности почвы.

Точность расчета суммарного испарения во многом зависит от корректности нахождения теплоэнергетических ресурсов процесса испарения, которые определяются из уравнения

$$L \cdot Z_{\text{mi}} = R_i^+ + P_i^+ \pm \Delta B_i - \Delta Z_{\text{mi}}, \quad (5.9)$$

где Z_{mi} - водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов - максимально возможное испарение, м; L - скрытая теплота испарения, Дж/м²; R_i^+ - положительная составляющая радиационного баланса, Дж/м²; P_i^+ - положительная составляющая турбулентного теплообмена, Дж/м²; ΔB_i - изменение теплозапасов деятельного слоя почвы, Дж/м²; ΔZ_{mi} - расход тепла на таяние снега и льда, Дж/м².

Из-за ограниченности материалов наблюдений за составляющими радиационного режима, турбулентными и почвенным теплообменами, использовать уравнение (5.9) в практических расчетах невозможно и, поэтому, для условий Беларуси получены расчетные зависимости, откорректированные по имеющимся данным наблюдений за реальные месяцы.

Восходящая ветвь (период роста дефицитов влажности воздуха) описывается как

$$R_{\text{Mi}}^+ = (2,26 + 6,67 \cdot \lg d_{\text{Mi}}) \cdot K, \text{ при } d_{\text{Mi}} \leq d_{\text{Mi}+1}, \quad (5.10)$$

а нисходящая ветвь (период спада дефицитов влажности воздуха) как

$$R_{\text{Mi}}^+ = 1,06 \cdot d_{\text{Mi}} \cdot K, \text{ при } d_{\text{Mi}} > d_{\text{Mi}+1}, \quad (5.11)$$

где d_{mi} - среднемесячные величины дефицита влажности воздуха, мб; K - переводный коэффициент ($K=1$ при R^+ - в ккал/см²; $K=41,9$ при R^+ - в Дж/м²).

Зависимости (5.10) и (5.11) характеризуются коэффициентами корреляции, соответственно: $r=0,965 \pm 0,006$; $r=0,945 \pm 0,010$ и значениями критериями Фишера, соответственно: $F=14,31$; $F=9,45$, что значительно больше теоретически допустимого (при 1%-

ном уровне значимости $F^T=1,643$). Следовательно, полученные уравнения статистически значимы.

Зависимости (5.10) и (5.11) даны с учетом поправки к эффективному излучению по Пивоваровой З.И.[40].

Годовая сумма адвективного тепла определяется по соотношению

$$P_{\Gamma}^{+} = 6,8 - 0,082 \cdot R_{\Gamma}, \quad (5.12)$$

где R_{Γ} - скомпенсированный радиационный баланс, ккал/см² [5].

Положительную составляющую радиационного баланса (R_{Γ}^{+}) для годовых интервалов достаточно точно можно определить по зависимости

$$R_{\Gamma}^{+} = 1,17 \cdot R_{\Gamma} + 2,10, \text{ при } r = 0,995 \pm 0,002. \quad (5.13)$$

Для реальных месяцев предлагается аналогичная зависимость

$$R_M^{+} = 0,77 + 1,01 \cdot R_M, \text{ при } r = 0,985 \pm 0,002; F=45,67 > F^T=1,53. \quad (5.14)$$

Из формул (5.11) и (5.12) получена зависимость для расчета месячных значений адвекции тепла

$$P_{Mi}^{+} = (6,65 - 0,07 \cdot \sum_{i=1}^{12} R_{Mi}^{+}) \cdot K_i, \quad (5.15)$$

где K_i - коэффициент внутригодового распределения положительной составляющей турбулентного теплообмена (P_{Mi}^{+}); изменяется в пределах от 5,5 до 12%.

Величины теплообмена в почве (ΔB) значительно меньше величин радиационного баланса. Данных специальных наблюдений за ΔB до настоящего времени не хватает. Расчет их производится приближенно по методике Будыко М.И. [5].

В связи с устойчивым влиянием Атлантического океана на погоду ЕТС в зимний период, нами учтены затраты тепла на таяние снега и льда в почве в период оттепелей, которые приближенно оцениваются по зависимости

$$\Delta Z_M = \frac{L_1}{L} \cdot (1,4 \cdot W_{CH} + W_{ГР}). \quad (5.16)$$

Величина ΔZ_m распределяется на холодные месяцы поровну, в предположении, что частые и длинные оттепели могут наблюдаться в течение всей зимы.

Данная методика позволяет по массовым метеоданным получить как средние многолетние (Z_m), так и их величины за реальные месяцы и годы, а также уточнить внутригодовой ход максимально возможного испарения.

В случае влияния грунтовых вод суммарное испарение Z_g больше, чем при глубоком залегании их уровня, т.е. $U_i = Z_{gi} - Z_i$. Поэтому, необходимо исследование зависимости между Z_{gi} и Z_i , которая отвечала бы требуемому условию. Для зоны неустойчивого естественного увлажнения, где в формировании водного режима участвуют почвенно-грунтовые воды, суммарное испарение (Z_{gi}) превышает соответствующие его величины, сформированные на участках с глубоким залеганием УГВ, т.е. $Z_{gi} > Z_i$ на величину U_i .

При изменении глубины залегания УПВ в пределах $0 \leq h_{\Gamma} < \infty$, суммарное испарение, в случае смешанного типа водного питания почв, колеблется в пределах $Z_i \leq Z_{gi} \leq Z_{mi}$.

С другой стороны, эти условия отражаются зависимостью

$$Z_{gi} = Z_i + Z_{Mi} \cdot \left(1 - \frac{Z_{oi}}{Z_{Mi}}\right) \cdot K_g, \quad (5.17)$$

в которой K_g - коэффициент, связанный с УПВ (h_{Γ}) (при $h_{\Gamma} \rightarrow 0$, $K_g \rightarrow 1$, а, при $h_{\Gamma} \rightarrow \infty$, $K_g \rightarrow 0$), и Z_{oi} - оптимальное суммарное испарение.

Этим требованиям удовлетворяет соотношение

$$K_g = 1 - \left[1 + \left(\frac{r \cdot h_{\Gamma}}{n \cdot h_K}\right)^{-r \cdot n}\right]^{-1/r}, \quad (5.18)$$

в котором h_K - высота зоны капиллярного поднятия (капиллярной каймы), см.

Уравнение (5.18) отражает характер распределения по вертикали интенсивности поступления в испаряющий слой грунтовой воды в зависимости от влажности, водно-физических свойств почвогрунтов и степени подвижности влаги в зоне аэрации. В отличие от известных методов определения испарения с учетом влияния грунтовой воды, данная зависимость включает в себя такие водно-физические характеристики почвогрунтов, как высота капиллярной каймы, влажность разрыва капиллярных связей и наиболее вероятное двоякоизогнутое очертание эпюры распределения интенсивности испарения почвенной влаги.

При исследовании водного режима почвы, который характеризуется соответствующей динамикой влажности, определенной из уравнения (5.18), кроме того, используются понятия различных категорий почвенной влаги (рис.5.2) А - мертвый запас влаги (от 0 до $W_{мг}$); Б - недоступная для растений влага (между $W_{мг}$ и $W_{вз}$); В - недостаточное увлажнение (между $W_{врк}$ и $W_{нв}$); Д - допустимое повышенное увлажнение на время, меньшее критического для растений (между $W_{нв}$ и $W_{кв}$); Е - избыточное увлажнение (между $W_{кв}$ и $W_{нв}$).

Предлагаемая номограмма (рис.5.2) указывает на взаимосвязь различных категорий почвенной влаги и применима для природных комплексов с дерново-подзолистыми почвами механического состава, которые преобладают в Беларуси, странах Прибалтики и Нечерноземной зоне РФ.

При воднобалансовых расчетах, как правило, используются данные о диапазоне активной влаги (ДАВ), равном разности между наименьшей влагоемкостью и влажностью разрыва капиллярных связей.

Возможные случаи соотношений фактических влагозапасов в этом диапазоне следующие:

- $W_{ki} > W_{нв}$ - влажность на конец расчетного интервала больше допустимой; наблюдается избыток почвенных влагозапасов - необходимо осушение;

- $W_{врк} \leq W_{ки} \leq W_{нв}$ - влажность находится в оптимальном диапазоне, отвечающем требованиям сельскохозяйственных культур;
- $W_{ки} < W_{врк}$ - влажность находится ниже оптимального порога - необходимо искусственное увлажнение почв.

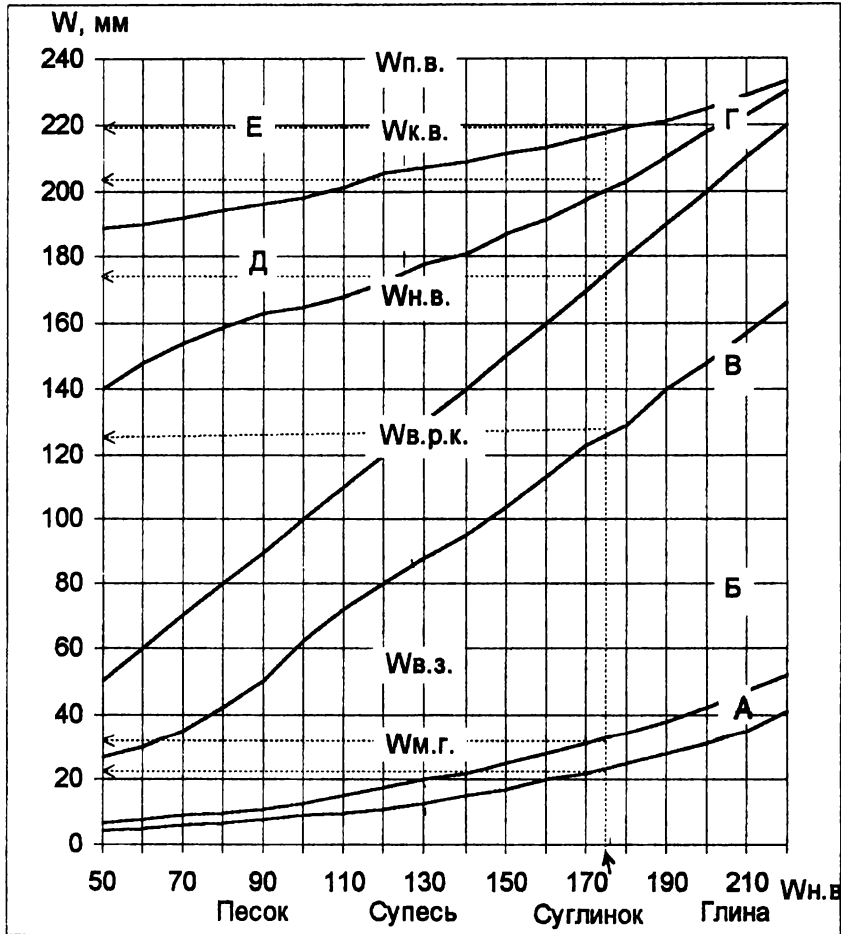


Рис.5.2 Номограмма для определения водно-физических характеристик минеральных почв (слой 0-50 см); $W_{мг}$, $W_{вз}$, $W_{врк}$, $W_{нв}$, $W_{кв}$, $W_{пв}$, соответственно максимальная гигроскопическая влажность, влажность завядания, влажность разрыва капиллярной каймы; наименьшая влагоемкость, капиллярная влагоемкость и полная влагоемкость.

Известно, что сельскохозяйственное поле по своим свойствам (рельеф, микро-рельеф, тип почвы, геологическое строение, характер и густота растительного покрова, условия водного питания и др.), как правило, неоднородно. Обеспечить же инструмен-

тальный контроль за почвенными влагозапасами оперативно, с малыми затратами и с учетом их пестроты по всей площади поля практически невозможно. Представить влажностную картину сельскохозяйственного поля, в целом, можно лишь, используя методы математического моделирования и аналитических расчетов. При этом, необходимо решать следующие вопросы:

- установить количество точек определения влажности почвы в границах исследуемого сельскохозяйственного поля, достаточное для математического моделирования;
- определить координаты точек, которые будут репрезентативными на данном поле, с точки зрения оперативных расчетов в них влажностей почвы;
- оценить с помощью имеющихся опытных (расчетных) материалов по влажностям почвы в границах сельскохозяйственного поля ее пространственную изменчивость;
- установить оптимальную для данной сельскохозяйственной культуры и временного интервала влажность почвы и назначить соответствующую ей мелиоративную норму (поливная, осушения), в целом, для поля;
- назначить репрезентативную глубину установки датчика (взятия проб) для характеристики влажности почвенного профиля.

Случайный характер почвенно-гидрологических констант предопределен в свое время процессом формирования здесь осадочных пород. Числом точек, в которых определяется W , повышается точность материалов изысканий, в соответствии с заданной вероятностью и с выбранными интервалами. В действующих нормативных документах, безусловно, дается количество точек на 1 км^2 площади, в зависимости от масштаба съемки, но, при этом, отсутствуют указания на необходимый в конкретных условиях объем выборки и точность конечного результата.

Каждая из случайных переменных, с той или иной вероятностью, может иметь определенное значение. Нами предполагается, что почвенно-гидрологические константы - случайные величины, и их возможные значения по характеру распределения на изучаемой территории, в принципе, непрерывны.

Вероятность события случайной величины (W) меньше общей совокупности некоторой текущей переменной (ω), однако, их общие свойства можно охарактеризовать функцией распределения случайной величины W

$$F(\omega) = P(W < \omega) . \quad (5.19)$$

Функция $F(\omega)$ является интегральной характеристикой распределения почвенно-гидрологических констант в границах поля. Производная от функции $F(\omega)$ называется плотностью ее распределения - $f(\omega)$.

Вероятность попадания случайной величины W в некоторый интервал $[a, b]$ выражается формулой

$$P(a < W < b) = \int_a^b f(\omega) \cdot d\omega . \quad (5.20)$$

Анализ статистической структуры почвенно-гидрологических констант и влажности почвы показал, что для генетически однородной совокупности, случайная величина W часто подчиняется нормальному закону распределения, для которого плотность распределения ($f(\omega)$), функция распределения ($F(\omega)$), нормированное отклонение (t), математическое ожидание ($\bar{W}$), дисперсия (σ^2) и среднеквадратическое отклонение (S) могут быть определены по стандартным расчетным зависимостям.

Почвенно-гидрологические константы для мелиорируемой площади, в целом, представляют собой бесконечную генеральную совокупность. В процессе изысканий должна ставиться задача получения выборочной совокупности, обладающей полнотой всех ее свойств. К выборочному методу применима центральная предельная теорема, записываемая в виде

$$P = \left[\left(\bar{\omega} - \bar{W} \right) < \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \right] = F(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-t}^t \exp \left(-\frac{t^2}{2} \right) \cdot dt, \quad (5.21)$$

где n - число определений (объем выборки).

Из теоремы следует, что, при $n \rightarrow \infty$, вероятность разности между $\bar{\omega}$ и $\bar{W}$, в пределах $\pm \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$, равна $F(t)$.

Принятый метод обеспечивает равную возможность быть выбранными всем единицам, входящим в состав генеральной совокупности. При составлении случайной выборки, отбор производится на удачу без элементов субъективизма.

Случайная выборка может быть осуществлена следующим образом. Мелиорируемая площадь покрывается сеткой квадратов так, чтобы каждый из них полностью входил в принятые границы.

В ходе математической интерпретации данной операции, вместо вероятностного пространства $\{\Omega, F, P\}$, рассматривается его конечное подпространство $\{\bar{\Omega}, \bar{F}, \bar{P}\}$ со множеством элементарных событий

$$\bar{\Omega} = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n\}, \quad (5.22)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ - номер квадрата; n - число квадратов; ω_i - значение почвенно - гидрологической константы, определяемой в центре квадрата.

Числовая функция от элементарного события (ω_i) представляется случайной величиной

$$W \in \bar{F} \cdot (W = f(\omega)). \quad (5.23)$$

При реализации данного подхода считается, что в пределах каждого квадрата значение конкретной почвенно-гидрологической константы W постоянно.

Число квадратов (n) принимается в зависимости от условий объекта изысканий и увязывается со схемой их размещения. Объем выборки назначается с учетом экономического фактора.

По предельной центральной теореме представительность выборки увеличивается с увеличением ее объема, но увеличение количества проб значительно удорожает изыскания. Так, стоимость комплекса почвенно-гидрологических изысканий для целей орошения в одной точке составляет 729 \$, для целей осушения - 589 \$. Необходимо стремиться к тому, чтобы объем изысканий обеспечивал необходимую точность без существенного удорожания работ.

При случайном отборе, объем выборки определяется по формуле

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{(\bar{W} - \omega)^2} \quad (5.24)$$

С увеличением числа точек определения W , повышается достоверность оценки почвенно-гидрологических констант и фактических влажностей почв, используемых при разработке проектных и формировании эксплуатационных режимов гидромелиораций. Это, в свою очередь, повышает вероятность получения запрограммированного урожая сельскохозяйственных культур. Например, при назначении поливных норм с относительной ошибкой более 10%, существенно снижается урожайность большинства культур. Поэтому, есть необходимость учета экономического эффекта от повышения точности оценки основного параметра режимов гидромелиораций, каким является влажность почвы.

В дифференциальной форме дополнительный чистый доход при мелиорации земель, полученный за счет повышения качества полевых почвенно-гидрологических изысканий, определяется

$$D = (S(\Delta_i \cdot Y) - Ц) \cdot A - e \cdot S_0(n), \quad (5.25)$$

где $S(\Delta_i \cdot Y) - Ц$ - чистый доход с единицы площади; $\Delta_i \cdot Y$ - средняя проектная прибавка урожая при 100% - ной обеспеченности качества почвенно - гидрологических изысканий ($F(t)=1$); $S(\Delta_i \cdot Y)$ - стоимость дополнительной сельскохозяйственной продукции; S - стоимость единицы продукции; $Ц$ - затраты на уборку урожая, составляющие 10% от $S(\Delta_i \cdot Y)$; A - мелиорируемая площадь - нетто; e - коэффициент нормативной эффективности дополнительных затрат; $S_0(n)$ - стоимость изысканий по определению почвенно-гидрологических констант.

Рассмотрим экономическую целесообразность почвенно-гидрологических изысканий, исходя из следующих граничных условий:

- изыскания не проводятся (прибавка урожая снижается до $\alpha(\Delta_i Y)$, где $0 < \alpha < 1$, поливная норма назначается с ошибкой 50%; $F(t)=0$);
- обеспеченность материалами изысканий 100%-ная (прибавка урожая максимальная - $\alpha(\Delta_i Y)$, где $\alpha=1$; оптимальная поливная норма; $F(t)=1$).

Оптимальный объем изысканий определяется из условия максимума функции (5.25), которая достигается при $\frac{\partial D}{\partial t} = 0$.

Равенство (5.25), с учетом (5.24), преобразуется к виду

$$D = \frac{(0,9 \cdot S(\Delta_i Y) \cdot F(t) \cdot A - e \cdot S_0) \cdot t^2 \cdot \sigma^2}{(\bar{W} - \bar{\omega})^2}, \quad (5.26)$$

Дифференцируя (5.26) по t , после некоторых преобразований, получим

$$\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) - \beta \cdot t = 0, \quad (5.27)$$

где

$$\beta = \frac{e \cdot S_0 \cdot \sigma^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}{((\bar{W} - \bar{\omega})^2 \cdot 0,95(\Delta_i Y) \cdot A)}.$$

Перед проведением изысканий, величины σ и $(\bar{W} - \bar{\omega})$ неизвестны, и для предварительного назначения объема выборки задаются в пределах от 0,2 до 0,3. Решаем трансцендентное уравнение (5.27) относительно t , и по формуле (5.24) - устанавливаем число точек определений (n). Фактическая дисперсия и средняя величина выборки находятся после изысканий по стандартным формулам, а также повторяется определение β и t . Если $n' < n$, выборка (n) - представительная; $n' \geq n$ - необходимы дополнительные изыскания.

По экономически обоснованной опорной сети точек, с использованием материалов полевых изысканий, строится карта гидроизоплант основных почвенно-гидрологических констант и выполняется исследование, на базе метода ГКР, влажности деятельного слоя почв для различных по естественной увлажненности лет. При наличии измеренных величин влажности почвы в рассматриваемых точках, предпочтение отдается опытным данным.

При недостаточности опытных данных, их используют для контроля расчетных величин влажности почвы. Совместный анализ карт гидроизоплант почвенно-гидрологических констант и полей влажности почвы в различные по увлажненности периоды способствует выбору характерных точек на конкретном поле, в которых влажность количественно равна среднему ее значению в границах всего поля. Такие точки могут считаться "реперными" при управлении водным режимом почв. Как показали исследования, "реперные" точки группируются вдоль гидроизопланты, близкой к средневзвешенному значению наименьших влагоемкостей почв, характерных для данного поля.

Распределение вероятностей влажности почвенного покрова на сельскохозяйственном поле, как отмечалось выше, подчиняется нормальному закону ($C_S=0$) и характеризуется двумя параметрами ($\bar{W}$, C_V^W - коэффициент пространственной вариации).

Динамика формирования почвенных влагозапасов определяется: с одной стороны водно-физическими свойствами данной почвы, с другой - тепловлагообеспеченностью территории (поля). При недостаточной естественной увлажненности, количество удерживаемой влаги определяется, в основном, "сосущей силой" почвы, при избыточной увлажненности - пористостью почвогрунтов. Априори можно утверждать, что аналогичной схеме отвечает изменчивость почвенных влагозапасов, которая, в одном случае, соответствует вариации "сосущей силы почвы", в другом, - вариации пористости.

Таким образом, общий вид зависимости коэффициента пространственной вариации влажности почвы от соответствующих средних для поля значений $\bar{W}$ и констант будет следующей

$$C_V^W = C_V^{ПВ} \cdot \left(\frac{\bar{W} - \bar{W}_{МГ}}{\bar{W}_{ПВ} - \bar{W}_{МГ}} \right)^\alpha + C_V^{МГ} \cdot \left(\frac{W_{ПВ} - \bar{W}}{\bar{W}_{ПВ} - \bar{W}_{МГ}} \right)^\beta, \quad (5.28)$$

где C_V^W , $C_V^{ПВ}$, $C_V^{МГ}$ - коэффициенты пространственной вариации фактической влажности почвы в любой текущий момент времени, а также ее влажности на уровне, соответственно, полной влагоемкости и максимальной гигроскопичности; $\bar{W}$, $\bar{W}_{ПВ}$, $\bar{W}_{МГ}$ - средние по площади значения влажности почвы, полной влагоемкости и максимальной гигроскопичности; α и β - эмпирические коэффициенты, определяемые для конкретного поля итерационными методами.

Для практического использования зависимости (5.28), удобными и весьма показательными являются графики типа

$$C_V^W = f(C_V^{ПВ}; C_V^{МГ}; \bar{W}; \bar{W}_{ПВ}; \bar{W}_{МГ}; \alpha; \beta),$$

со следующей аппроксимацией

$$C_V^W = 0,09 \cdot \left(\frac{\bar{W} - 14}{186} \right)^{1,65} + 0,58 \cdot \left(\frac{200 - \bar{W}}{186} \right)^{1,24} \quad (5.29)$$

У нижней границы почвенных влагозапасов, когда всасывающее давление порядка 1 атм., наблюдается разрыв сплошности капилляров и минимальная вариация фактических влажностей почвы. При полном иссыхании почвы, коэффициент вариации достигает значения, равного коэффициенту вариации общей удельной поверхности твердой фазы почвы. В данном случае, влажность почвы на сельскохозяйственном поле повышается до $W_{орг}$ путем орошения. Однако, из-за пестроты свойств почвенного покрова, даже в границах одного поля поливная норма неоднозначна. Поэтому, при формировании поливного режима решается задача ее оптимизации.

Суть оптимизации заключается в назначении такой поливной нормы, чтобы недоувлажнение (переувлажнение) отдельных элементов сельскохозяйственного поля $D(И)ВБ \rightarrow \min$.

Для определения $D(И)ВБ$ нами рекомендуется использовать следующие выражения:

$$D(И)ВБ = \sum_{i=1}^n \begin{cases} K_{И} \cdot (W_i + m) - W_{Вi}, & \text{если } W_i + m > W_{Вi}; \\ 0, & \text{если } W_{Нi} \leq W_i + m \leq W_{Вi}; \\ K_{Н} \cdot (W_{Нi} - (W_i + m)), & \text{если } W_i + m < W_{Нi} \end{cases}, \quad (5.30)$$

где $W_{Вi}$, $W_{Нi}$ - влажность почвы при верхнем и нижнем уровне оптимума в i -той точке поля, обычно, $W_{Вi}=W_{НВi}$, $W_{Нi}=W_{ВРi}$; $K_{Н}$, $K_{И}$ -коэффициенты, учитывающие влияние, соответственно, недоувлажнения и переувлажнения почв при поливе на урожайность сельскохозяйственной культуры.

В результате полива оптимальной нормой, влажность почвы в i -той точке определяется как обеспеченная величина. При нормальном законе распределения вероятностей, это

$$(W_i + m)_{р\%} = (\bar{W} + m) \cdot (C_V^W \cdot \Phi_{р\%} + 1), \quad (5.31)$$

где $\Phi_{р\%}$ - нормированные отклонения от среднего значения ординат кривой обеспеченности.

Кроме того, необходимо ввести понятие "репрезентативная глубина измерения". На этой глубине, влажность почвогрунтов имеет наибольшую коррелированность со средней влажностью деятельного слоя почвы. С учетом данной глубины, отбираются пробы или устанавливаются соответствующие датчики.

Выявленные при тепловоднобалансовых расчетах дефициты водного баланса (ДВБ) ликвидируются в условиях дополнительного увлажнения сельскохозяйственных земель или орошения сельскохозяйственных культур. Методика оптимизации поливной нормы изложена выше.

Однако, формирование рационального режима орошения не ограничивается оптимизацией поливных норм с учетом пестроты свойств почвенного покрова. Режим орошения, в целом, необходимо увязать с гидрологическим режимом используемого водисточника. В качестве источников могут служить воды рек, поверхностный местный сток, воды естественных озер и водохранилищ, подземные воды; динамики водопотребления сельскохозяйственных культур и формирования водных ресурсов источников указывают на существующие в природе определенные резервы воды, которые пока не используются при орошении. Так, считалось, что засушливые периоды на орошаемом массиве точно накладываются во времени на периоды низкой водности рек. Но сегодня ясно, что маловодья на реках и засухи на сельскохозяйственных землях - суть явления, различные по своей природе. Водность реки в створе водозабора формируется под влиянием климатических, гидрологических, гидрогеологических и других условий всего водосбора с сопредельными территориями, а засушливость на орошаемом участке - обуславливается, прежде всего, гидрометеорологическим режимом ограниченного региона.

Установлено, что асинхронность в колебаниях элементов режима орошения и режима речного стока р. Березины (пункты Бобруйск, Борисов), при обеспеченностях эле-

ментов режима орошения от 3 до 50% (по дефициту водного баланса) на протяжении всего периода вегетации сельскохозяйственных культур составляет от 5 до 39% [53]. Минимальное значение коэффициента асинхронности (K_p) - 1,05 (Бобруйск, май - август), максимальное - 1,39 (Бобруйск, первая декада августа). Как видно, фактор асинхронности в колебаниях речного стока весьма существенен и его необходимо учитывать при обосновании оросительных (увлажнительных) мероприятий. По результатам тепло-воднобалансовых исследований, нами установлена, методом корреляционного анализа, связь колебаний речного стока в расчетных створах и дефицитов водного баланса корне-обитаемого слоя почв для поливного структурного гектара в границах ряда водосборов более чем за 40 - летний период (1947...1987 г.г.).

В результате выявлено, что коэффициенты корреляции между этими величинами незначительны. Для мелиорируемых участков, находящихся на водосборе в зоне конкретной метеостанции, в эти годы определены значения обеспеченностей стока и ДВБ за два периода: теплый период (апрель-октябрь), критический месяц (июль). Анализ полученных материалов показывает, что на территории Беларуси, за исключением отдельных лет, обеспеченность ДВБ оказывается меньше обеспеченности стока в засушливые годы и наоборот - во влажные. Подтвердился тезис несовпадения во времени засух на сельскохозяйственных полях и маловодья источников орошения. Значительная асинхронность колебаний по территории обеспеченностей ДВБ и стока присуща всем рассмотренным периодам.

Оценка асинхронности стока и элементов режима орошения (K_p) осуществляется в определенной последовательности. Определяются за расчетный период сток в замыкающем створе бассейна и суммарный для мелиорируемой территории дефицит (их значения удобнее выразить в относительных величинах - ($K_{ст}$ и $K_{ДВБ}$)). По имеющимся календарным рядам этих элементов строятся хронологические кривые обеспеченности. Затем, значения стока и ДВБ располагаются в порядке, при котором большему ДВБ соответствует меньшая величина речного стока. При построении кривых оказалось, что хронологическая кривая обеспеченности стока в сухие и засушливые годы расположена выше синхронной кривой ДВБ, а во влажные годы - ниже. По соотношению ординат кривых обеспеченности хронологических ($K_{ст} + K_{ДВБ}$)ХР и равнообеспеченных ($K_{ст} + K_{ДВБ}$)РО сумм модульных коэффициентов находится значение коэффициента асинхронности (K_p) при любой обеспеченности

$$K_p = \frac{(K_{ст} + K_{ДВБ})_{ХР}}{(K_{ст} + K_{ДВБ})_{РО}} \quad (5.32)$$

В связи с тем, что обеспеченность ДВБ в засушливые годы существенно меньше обеспеченности речного стока, полученные коэффициенты асинхронности позволяют повысить эффективность использования водных ресурсов при орошении. Во влажные годы обеспеченность модуля дренажного стока выше обеспеченности речного стока. В эти годы - возможно улучшение гидрологического режима рек за счет сброса в них воды

из проводящей осушительной сети.

Для различных водопостов и интервалов времени наблюдаются значительные колебания коэффициентов асинхронности. Объясняется это не только различиями и физико-географическими, гидрогеологическими и почвенными условиями на водосборах, но и ограниченностью рядов исходных данных. В связи с этим, нами исследована возможность объединения рядов коэффициентов асинхронности с использованием непараметрического рангового критерия Вилкоксона. Оценка однородности проведена при 5% -ном уровне значимости; объединение рядов коэффициентов асинхронности в один вариационный ряд - вполне допустимо. Совместное рассмотрение материалов наблюдений значительно увеличило объем информации. Статистическая однородность объединенных рядов гарантирует хорошую сходимость пространственной и временной кривых распределения.

Аналитическая зависимость коэффициентов асинхронности режимов речного стока и орошения при расчетной обеспеченности элементов режима орошения ($P, \%$) имеет вид

$$K_p = \frac{1}{(\beta - \alpha \cdot P)}, \quad (5.33)$$

где α и β - эмпирические коэффициенты, зависящие от принимаемых интервалов осреднения и изменяющиеся в пределах - $\alpha=0,005...0,008$ и $\beta=1,207...1,324$.

При пространственно-временном обобщении коэффициентов асинхронности (K_p), исследовалось также влияние на его величину размера площади водосбора в замыкающем створе.

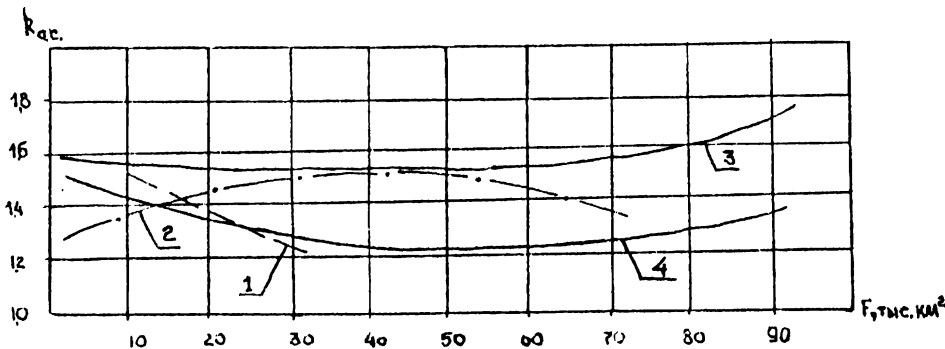


Рис.5.3 Зависимость коэффициентов асинхронности от площади водосбора (95% -ная обеспеченность водопотребления - сток за теплый период): 1 - Волковыск; 2- Полесская; 3-Василевичи; 4 - средняя по Беларуси.

Как видно из рис.5.3, величины коэффициентов асинхронности в районах Волковыска, Полесской, Василевичей и др. описываются параболическими кривыми, увеличиваясь при малых и больших водосборах, с экстремумом, приходящимся на водосборные площади в пределах 34...55 тыс. км².

Знание асинхронности режимов стока по замыкающему створу и орошения, подвешенных к нему площадей, позволяет уменьшить водопотребление на цели дополнительного увлажнения мелиорируемых территорий и орошения сельскохозяйственных культур на 20...40%, что оказывает позитивное влияние на гидрологический режим водотоков и равносильно выявлению скрытых резервов воды.

С учетом асинхронности (K_p), расход (Q_{op}) и объем (W_{op}) воды, которые могут быть выделены в расчетном створе на цели орошения составляют:

$$Q_{OP} = K_p Q_P - Q_B - Q_{min}; \quad (5.34)$$

$$W_{OP} = (K_p Q_P - Q_B - Q_{min}) \cdot T, \quad (5.35)$$

где Q_P - средний расход воды за критический период обеспеченностью P (%), м³/с; K_p - коэффициент асинхронности в колебаниях речного стока и режима орошения обеспеченностью P , %; Q_B - средний за критический период расход воды для целей водоснабжения, м³/с; Q_{min} - минимально допустимый расход воды в водоприемнике, оставляемый в целях охраны природы (экологический сток), м³/с; T - продолжительность полива в критический период, сут.

Оросительная способность водоисточника F_{HT} (га) при известном расходе воды, выделяемом из него на цели орошения (Q_{op}), определяется как

$$F_{HT} = \frac{Q_{OP} \cdot \eta_{сист.}}{q_{max}}, \quad (5.36)$$

а при известном объеме воды, предусмотренном в водоисточнике для орошения (W_{op}), как

$$F_{HT} = \frac{W_{OP}}{M_{CP.B3B.HT}} \cdot \eta_{сист.}, \quad (5.37)$$

где $\eta_{сист.}$ - коэффициент полезного действия оросительной системы; q_{max} - расчетная ордината укомплектованного графика гидромодуля проектируемого севооборота, л/с.га; $M_{CP.B3B.HT}$ - средневзвешенная оросительная норма - нетто для проектного севооборота (м³/га), определяемая по формуле:

$$M_{CP.B3B.HT} = \frac{M_1 \cdot \alpha_1 + M_2 \cdot \alpha_2 + \dots + M_n \cdot \alpha_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \quad (5.38)$$

в которой $M_1 \dots M_n$ - оросительные нормы - нетто расчетной обеспеченности для соответствующих сельскохозяйственных культур, включенных в проектный севооборот, м³/га; $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ - доля или процент площади, занимаемой данной культурой в севообороте (F_{HT}).

В свою очередь, орошаемая площадь брутто - F_{6p} связана с площадью - нетто соотношением

$$F_{БР} = \frac{F_{НТ}}{к. з. и.}, \quad (5.39)$$

где к.з.и. - коэффициент земельного использования для данной оросительной системы.

Если речной сток зарегулирован, расчеты выполняются с учетом работы водохранилища, оцениваются также излишки водных ресурсов, которые являются резервом для дополнительного использования, в частности, в целях добавочного регулирования стока, маганизирования некоторого запаса воды в пойменных подземных емкостях. В периоды с недостатком речных вод привлекаются подземные воды. Последние, конечно, имеют преимущественное значение для обеспечения водой коммунально-бытовых нужд населения, но могут также использоваться для целей орошения при соответствующем технико-экономическом и экологическом обосновании. Именно анализ возможностей совместного использования поверхностных и подземных вод на цели орошения позволяет установить объем собственно подземных вод, идущих в естественных условиях на покрытие дефицита речного стока.

Однако, в силу генетического единства природных вод суши, при эксплуатации подземных вод возможно сокращение речного стока, которое учитывается в расчетах. Необходимо учитывать суммарное влияние отборов подземных вод для орошения на речной сток, произведенных в текущем и предшествующих годах. По полученным величинам производится уточнение возможного отбора речных вод (W_p), в связи с изменением их ресурсов

$$W_1^P = W - W' - \Delta W^P, \quad (5.40)$$

где W - среднеинтервальный объем речного стока; W' - потребность в воде других водопользователей, включая экологический попуск; ΔW_p - величина сокращения речного стока, вызванного отбором подземных вод.

Далее расчеты продолжают до тех пор, пока разница в отборах расчетной обеспеченности в двух соседних итерациях не станет меньше заданной величины. В результате, находятся оптимальные параметры и режимы отборов воды из поверхностных и подземных источников на цели потребления.

Таким образом, изложенный подход дает возможность обосновать параметры рационального режима орошения сельскохозяйственных культур в границах отдельно взятой гидромелиоративной системы. При этом, учитывается комплекс гидролого-климатических и почвенно-мелиоративных факторов относительно ограниченного по масштабам района.

При расчете водохозяйственных балансов больших регионов, включающих в себя значительное количество мелиоративных систем, отличающихся неустойчивостью режимов увлажнения почв, водозабора, водооборота и сброса возвратных вод, решается задача согласования режимов их водопотребления и водоисточников по замыкающему створу. При этом, необходимо учитывать пространственно-временные колебания по-

требностей и ресурсов воды не только в границах отдельных мелиоративных систем дискретно для репрезентативной точки, но и в целом, в границах водосборной площади реки, к которой они приурочены (для непрерывных стохастических полей водопотребления и ресурсов воды). Здесь рассматривается совокупность значений водопотребления всех мелиоративных объектов и водных ресурсов элементов водосбора, к которым они относятся. Эффект пространственно-временной асинхронности полей собственно водопотребления и водных ресурсов, а также в системе “водопотребление - сток” количественно оценивается согласно предложению Сомова Н.В. и Волчека А.А. [8], когда однозначно определяется коэффициент асинхронности в любых зонах кривой обеспеченности в отдельности и для всей совокупности значений водопотребления или водных ресурсов, а также при рассмотрении их в балансе. Количественным показателем степени асинхронности полей стока и потребления на цели орошения является отношение

$$K'_{ac}(P) = \frac{\frac{W_{XP}^C}{\bar{W}^C} + \frac{W_{XP}^O}{\bar{W}^O}}{\frac{W_{PO}^C \cdot \bar{K}_{ac}^C(P)}{\bar{W}^C} + \frac{W_{PO}^O \cdot \bar{K}_{ac}^O(P)}{\bar{W}^O}}, \quad (5.41)$$

где $K'_{ac}(P)$ - коэффициент асинхронности характеристик, рассматриваемых во взаимосвязи и зависимости; $W^c = W_{\Pi}^c - W_{\text{экол}}^c$ - полезный объем стока; $\bar{W}^C$ - норма полезного объема стока; W_{Π}^C - измеренный русловой сток; $W_{\text{экол}}^c$ - остаточный экологический сток; W^O , $\bar{W}^O$ - объем воды, необходимый на цели орошения и его норма; $\bar{K}_{ac}^C(P)$ - коэффициент асинхронности формирования водных ресурсов по территории; $\bar{K}_{ac}^O(P)$ - коэффициент асинхронности водопотребления на цели орошения по территории; “XP” - индекс хронологических величин; “PO” - тоже, равнообеспеченных величин. Из выражения (5.41) объем воды на цели орошения, с учетом всех рассматриваемых коэффициентов асинхронности, определяется как

$$W^O = F_0 \cdot (M_{50}^{CP} \cdot K_C(P) \cdot (K'_{ac}(P) \cdot \bar{K}_{ac}^C(P) - 1) + M_P^{CP} \cdot K'_{ac}(P) \cdot \bar{K}_{ac}^O(P)), \quad (5.42)$$

где F_0 - суммарная площадь орошения в границах водосбора; M_{50}^{CP} , M_P^{CP} - средневзвешенные по водосбору оросительные нормы 50% и P%-ной обеспеченности; $K_C(P)$ - модульный коэффициент стока расчетной обеспеченности.

Для нахождения коэффициентов пространственной асинхронности, используются функции пространственной асинхронности (ФПА) [8].

Для однородных и изотропных полей устанавливается зависимость коэффициентов асинхронности ($K_{ac}(P)$) от расстояния (ρ) и обеспеченности (P)

$$K_{ac}(P) = 1 + \alpha(P) \cdot \rho, \quad (5.43)$$

где $\alpha(P)$ - эмпирический градиент ФПА, зависящий от обеспеченности балансовых элементов.

Для оценки вклада асинхронности в формирование водопотребления на цели орошения или стока, на всей водосборной площади необходимо проинтегрировать функцию (5.43) по площади.

При этом, площадной коэффициент асинхронности определяется по следующей зависимости

$$\bar{K}_{ac}(P) = (F + 1)^{0,5 \cdot \alpha(P)}, \quad (5.44)$$

где F - площадь водосбора. В обобщенном виде коэффициенты $K'_{ac}(P)$ для мелиорированных территорий Беларуси представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 Обобщенные коэффициенты асинхронности полей стока и водопотребления ($K_{ac}(P)$)

Обеспеченность по стоку (Р%)	5	10	25	50	75	90	95
Коэффициент асинхронности	1,18	1,16	1,09	0,96	0,83	0,76	0,73

Данные, представленные в табл. 5.2, можно использовать при учете асинхронности балансовых элементов других недостаточно изученных территорий, сходных по своим природно-климатическим условиям.

Методика оценки асинхронности гидролого - климатических характеристик мелиорируемых земель и водосборных площадей дает возможность с привлечением массовых гидрометеорологических материалов и данных полевых почвенно-мелиоративных изысканий, повысить качественные характеристики динамики естественной увлажненности территорий, в целом, и водного режима почв сельскохозяйственного поля. Причем, задача решается с учетом формирования, в условиях гидромелиораций, оптимального водно-воздушного режима под конкретными культурами. Оптимизация тепловлагообеспеченности корнеобитаемого слоя почв должна осуществляться в тесной увязке с рациональным природопользованием, обеспечивающим экономное расходование водных ресурсов на цели орошения и дополнительного увлажнения земель, поддержание УПВ на оптимальной глубине, согласование режимов гидромелиораций с гидрологическими режимами водоисточников.

Следует отметить, что в отдельные годы или моменты периода вегетации происходит смена видов режимов гидромелиораций (осушение-увлажнение; осушение-орошение; осушение-увлажнение (орошение) - осушение и т.п.).

В качестве режимоформирующих факторов в зависимости от складывающейся гидролого-мелиоративной обстановки, могут использоваться: норма осушения (положение уровней подземных вод - УПВ), влажность почвы (W), средний уровень оптимальной относительной влажности почвы, применительно к конкретной фазе развития

растений (V_0), допускаемые сроки весеннего затопления поверхности сельскохозяйственных угодий, сроки отвода избыточной влаги из корнеобитаемого слоя в период летне-осенних дождей. Отсюда управляющими параметрами при автоматизированном управлении режима гидромелиораций будут выступать: УПВ; относительная влажность почвы средняя за расчетный период (или за определенную фазу развития культуры) - V_{oi} ; верхний предел оптимальной влажности почвы - $W_{\max(HB)}$; нижний предел оптимальной влажности почвы - $W_{\min(BPK)}$; уровни, при которых осуществляется пропуск воды в проводящей гидромелиоративной сети (H_i); допустимые отклонения от принятых управляющих параметров : $\pm \Delta UГВ$, $\pm \Delta V_0$, $\pm \Delta W_{\max}$, $\pm \Delta W_{\min}$, $\pm \Delta H$.

5.3 Оценка степени репрезентативности места установки датчиков влажности почв

Обязательным условием при составлении прогноза водного режима, основывающегося на данных об УПВ, является замер уровней в репрезентативных (обладающих высокой степенью информативности) точках мелиорируемого поля. Искаженная информация о действительном положении УПВ по всей площади осушаемого поля приводит к экономически неоправданным эксплуатационным затратам.

Наиболее оперативно эта задача может быть решена при автоматизации работы скважин по датчикам УПВ, установленных в колодцах управления (КУ). Выбор места установки КУ играет существенную роль, поскольку, он определяет режим откачек и, как следствие, - мелиоративную обстановку обслуживаемой площади.

В результате исследований, проведенных на системах вертикального дренажа в аридной зоне, установлено [34], что датчики УГВ необходимо располагать в интервале, примерно, радиуса влияния скважины. Однако, механически переносить этот вывод на системы вертикального дренажа в гумидной зоне, для которой характерен дискретный режим работы скважины, недопустимо.

В связи с этим, в 1986г. были проведены специальные исследования по оценке пространственной изменчивости УПВ и степени ее влияния на репрезентативность места установки колодца управления с датчиками УПВ. Исследования проводились на опытно-участке вертикального дренажа на объекте "Осиповка" (Малоритский район Брестской области) на площади 36 га, расположенной в квадрате скважин №1, 2, 5, 4.

Участок характеризуется сложным гидрогеологическими условиями, выражающимися в наличии на глубине 1,5...2,0 м слабопроницаемой прослойки. Более половины площади занимают торфяные почвы с мощностью торфа от 0,3 до 1,0 м. Для участка характерна, четко выраженная рельефность с перепадом отметок поверхности более 1,0 м. Проектом предусматривалась система автоматического включения (выключения) четырех скважин, расположенных по квадрату, со стороной 620 м, в зависимости от H_k - уровня воды в КУ, расположенного в центре квадрата. КУ снабжен восемью электродными датчиками уровня по два электрода, контролирующих зону регулирования, для

каждой скважины. При достижении уровня воды в колодце отметки установки электрода контролирующего верхнюю границу зоны регулирования, - происходит включение в работу соответствующей скважины, при снижении уровня в КУ отметки нижней границы зоны регулирования - скважины отключается. Таким образом, моменты включения (выключения) скважин определяются положением УГВ в месте установки КУ.

Сущность методики исследований заключается в одновременной оценке уровня режима всего осушаемого поля и сравнении его с УПВ колодца управления. Поле было разбито на квадраты: 100х100 м. По вершинам квадратов буром устраивались наблюдательные скважины с незакрепленными стенками. Замеры УПВ проводились от поверхности земли с точностью 10мм. За период с мая по август было проведено 17 измерений УПВ по 36 точкам с обязательной регистрацией уровня воды в колодце управления (H_k) относительно поверхности земли.

Результаты статистической обработки данных измерений, свидетельствуют о значительной пространственной вариации УПВ.

Степень репрезентативности места установки колодца управления оценивается вероятностным методом. По результатам расчетов, для каждой съемки строятся интегральные и дифференциальные кривые вероятности. Анализ графиков позволил установить, что место расположения колодца управления является репрезентативным при глубине УПВ, равной 85...125 см. В остальных случаях, уровень воды в колодце управления находится выше УПВ осушаемой площади. Так, для сеанса площадного измерения УПВ, проводившегося в середине мая, $H_k = H_p = 95$ см (H_p - расчетные значения УГВ), колодец управления обладает требуемой информативностью для 11 га, что составляет около 23% всей осушаемой площади; на остальной территории наблюдается переосушка (18 га, $H_{max} = 180$ см) и переувлажнение (7 га, $H_{min} = 39$ см).

С учетом известных требований о допущении переувлажнения корнеобитаемого слоя, на части мелиорируемой площади для многолетних трав на 20%, для пропашных культур - на 10% и зерновых культур - на 5%, можно сделать вывод о том, что место установки колодца управления будет репрезентативным, если количество однотипных УПВ из вариационного ряда измерений, попавших в модальную область, составляет для зерновых культур не менее 95%, для пропашных культур - не менее 90% и для многолетних трав - не менее 80%.

Для исследуемой площади осушения, засеянной многолетними травами, указанное положение не выполняется: данные об УПВ в месте установки колодца управления не могут являться достаточно информативными для управления режимом работы всех скважин, как было предусмотрено проектом. Этот просчет в проектировании привел к тому, что пришлось перейти на местное управление каждой скважиной и отказаться от автоматического.

Для поддержания на данной площади требуемого УПВ, при работе скважин в автоматическом режиме, необходимо установить автономные колодцы управления в ра-

диусе влияния каждой скважины, располагая их в зоне репрезентативных УПВ. Эта зона характеризуется максимальной плотностью УПВ и ограничивается в плане гидроизогипсами с отметками H_p , E_n , на которых устанавливаются датчики УПВ. Для проведения ориентировочных расчетов (размеров) этой зоны можно использовать составляемые в результате гидрогеологических изысканий карты гидроизогипс.

5.4 Особенности формирования водного режима почв на автоматизированных системах

Рассмотрим особенности формирования водного режима почв в течение всего вегетационного периода на автоматизированных системах на примере водооборотной польдерной системы "XXIV съезд КПСС" Пинского района, расположенной в пойме Припяти (рис.5.4). Площадь осушения 3360 га, основная часть территории представлена, преимущественно, мелкозалежными торфяниками с выклиниванием минеральных выщелений. Рельеф массива холмистый, особенно в южной части, имеется много понижений. Регулирующая сеть закрытого типа (гончарный дренаж) в сочетании с открытой сетью. На осушаемых землях предусмотрено подпочвенное увлажнение на площади 2430 га и орошение дождеванием (машинами "Днепр", "Фрегат" и стационарными установками ДД-30) - на площади 583 га.

Для аккумуляции местного стока предусматривается водохранилище с площадью зеркала 115 га и полезной емкостью 4,6 млн.м³ при расчетной оросительной нормы 1500 м³ на 1 га мелиорированных земель. Водохранилище расположено на минеральном участке осушаемого массива и удалено от дамбы ограждения польдера на 1,2 км. Дамбы водохранилища возведены из песчаных грунтов разной крупности с использованием средств гидромеханизации с последующей доработкой профиля экскаваторами и бульдозерами. Восточная дамба водохранилища выполнена с противофильтрационной защитой в виде экрана из полиэтиленовой пленки, три остальных - не имеют защиты. Высота дамб, в среднем, достигает 5 м, заложение внутреннего откоса - $m=18...23$, внешнего - $m=4,0...4,5$. Коэффициент фильтрации грунта ложа водохранилища (на поверхности) 2,0...3,0 м/сут, но, с увеличением глубины, его значения возрастают до 8 м/сут. У подножья низового откоса, по периметру водохранилища, заложен двухъярусный дренаж из асбестоцементных труб, диаметром 189 мм. Параллельно дренажу, на расстоянии 25 м, выполнен придамбовый канал, который предназначен дополнять функцию дренажа (перехватывать и отводить фильтрационные воды).

Водооборотная польдерная система работает следующим образом. В весеннее время две осушительные насосные станции, общей производительностью 7 м³/с, закачивают воды местного стока из мелиоративной сети в водохранилище. Откачка воды (соответственно, и сработка УПВ на массиве) прекращается при достижении нормы осушения, характерной для предпосевного периода. После этого, станции включаются в работу эпизодически при выпадении интенсивных осадков или для откачки фильтраци-

онных вод со стороны водоприемника и из водохранилища. В многоводную весну, после заполнения водохранилища, избыток воды сбрасывается в реку, а в маловодную, - при недостатке местного стока, - заполнение емкости осуществляется путем забора воды из реки.

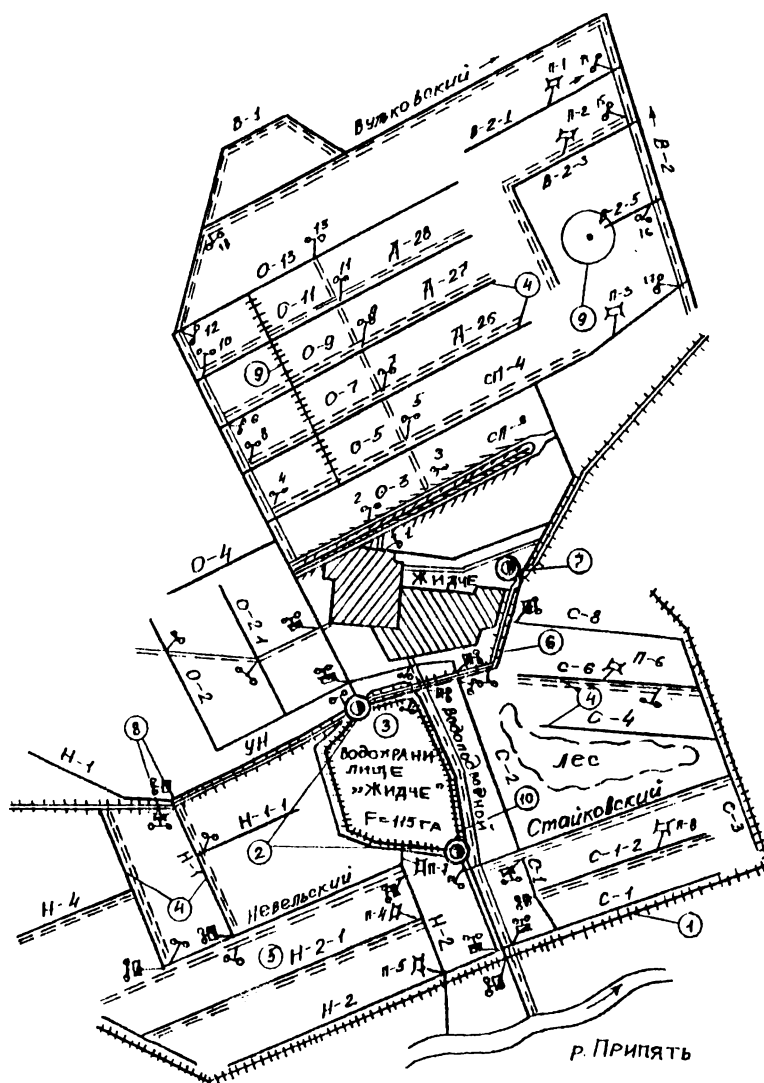


Рис.5.4 Схема водооборотной польдерной системы в совхозе "XXIV съезд КПСС" Пинского района.

Так, в маловодную весну 1983 г. на заполнение водохранилища было закачано из реки 2 млн.м³ воды, в другие годы - забор воды не требовался. В третьей декаде апреля или в начале мая, наряду с откачкой грунтовых вод из пониженных мест и перекачкой фильтрационных вод, осуществляются попуски воды из водохранилища по водоподводящему каналу к оросительной насосной станции для увлажнения посевом многолетних трав на возвышенных участках. Часть осадков поступает в виде грунтового стока в коллекторы и, затем, - в магистральный канал, а из последнего - закачивается в водохранилище.

В летний период, вода из регулирующей емкости поступает по водоподводящему каналу и системе коллекторов на орошение и подпочвенное увлажнение, где она проходит определенный путь в почвогрунтах и расходуется, преимущественно, на суммарное испарение. Воды местного стока от дождей, боковой приточности по контуру ограждения, фильтрационные воды из водохранилища периодически закачиваются в регулируемую емкость, где отстаиваются и, по мере надобности, подаются на сельскохозяйственные поля.

Для наблюдения за положением УПВ, на осушаемых землях использовано 50 смотровых колодцев, которые размещены в четырех створах.

Прежде чем охарактеризовать водно-воздушный режим почвы, который складывался в текущем году на мелиорированных землях, необходимо дать краткую характеристику рельефа в польдере. С этой целью, выполнено нивелирование двух наиболее протяженных створов колодцев (второго и третьего). Второй створ общей протяженностью трассы - 2,5 км, третий - 6,2 км.

Рассматривая продольные профили створов, следует отметить, что на участке трассы имеются отдельные возвышения до 1,0 м по сравнению с окружающей поверхностью. В целом, все отметки поверхности осушаемых площадей, на этом участке, выше отметок центральной поймы в среднем на 0,5...1,5 м.

По третьему створу, отдельные возвышения чередуются с понижениями на массиве, но наиболее возвышенные элементы рельефа отмечаются на орошаемых площадях. В целом, эти превышения над средними отметками центральной поймы составляют 2,0...2,5 м, а среднее колебание отметок поверхности земли - 0,5...1,5 м. Аналогичное изменение рельефа свойственно и остальным мелиорируемым площадям. Отсюда видно, что мелиорируемый массив характеризуется пересеченным рельефом, все возвышения представлены минеральными почвами (пылеватými песками).

На водооборотной системе проводился отбор почвенных проб на влажность в шести точках. Три точки (площадки) располагались на осушаемых площадях, где проводится подпочвенное увлажнение, а три - на орошаемом участке. На осушаемых землях площадки подобраны под разными культурами: озимые (рожь), картофель и многолетние травы (рис.5.5). В целом, следует отметить, что уровни грунтовых вод в первой половине вегетационного периода на землях с мелкой залежью торфа составляли 40...100 см (на травах), 40...150 см - на поле с картошкой и 80...120 см - на площадях, занятых

под озимой рожью. Колодец N30 находится на поле, занятом картошкой и расположен на возвышении 0,6 м по отношению к прилегающим землям.

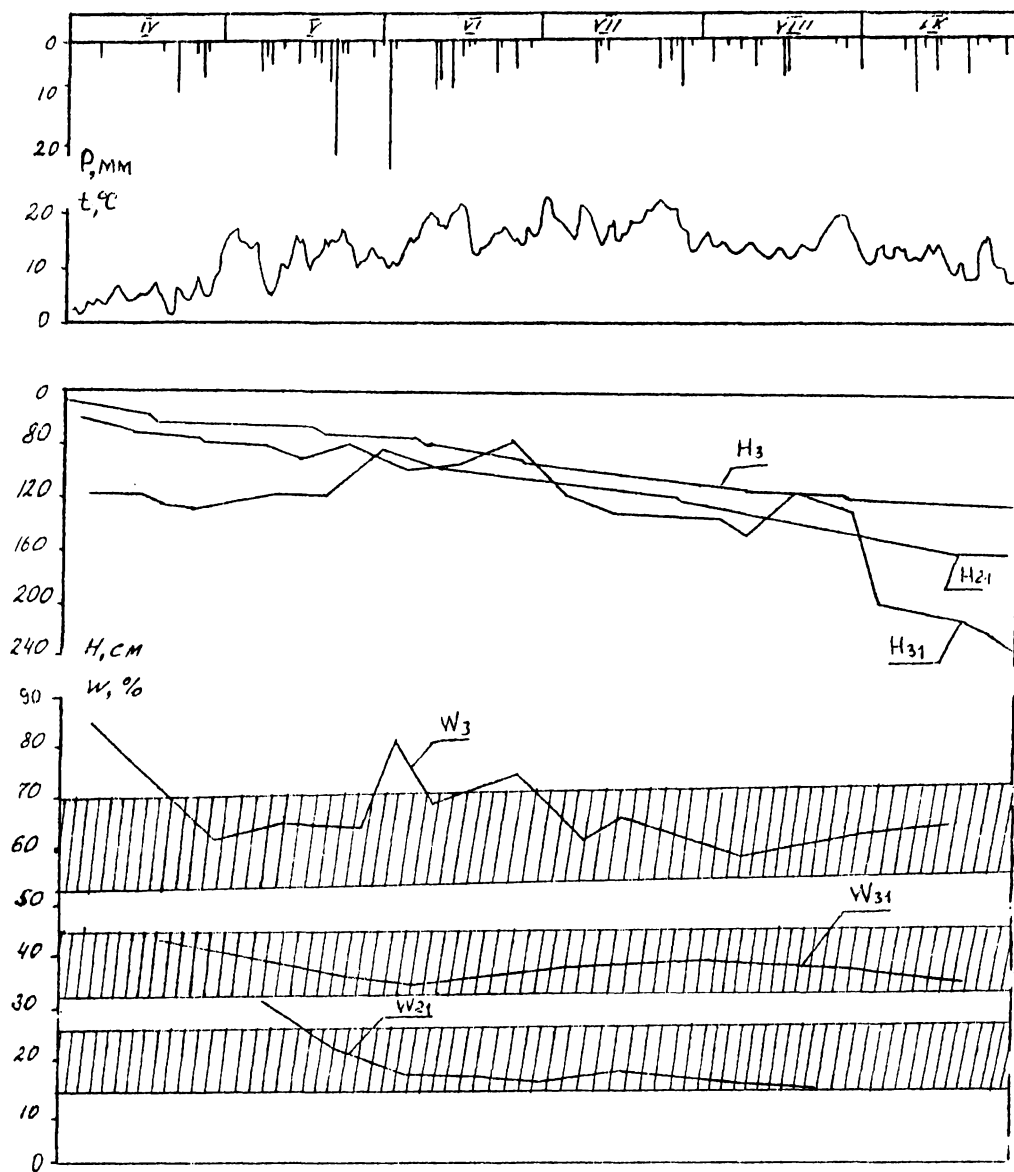


Рис.5.5 Водный режим на поле с мелкозалежным торфяником при возделывании картофеля (К-3), трав (К-21) и озимой ржи (К-31).

Поэтому, глубина подземных вод 150 см - не является определяющей для всего поля. В первой половине лета выпадали осадки в достаточном объеме и даже превышали норму. В связи с этим, даже при глубинах, превышающих норму осушения, влажность почвы не опускалась ниже минимальных значений оптимальной зоны. Во второй половине вегетационного периода (июль, август, сентябрь), в первые два месяца, осадков выпало меньше нормы, а в сентябре - больше нормы. Кроме того, подчистка придамбового канала повлияла на уровненный режим нижней части осушаемого массива. Поэтому, УПВ в конце августа и в сентябре опускались очень интенсивно. Это подтверждает влажность почвы, когда в отдельные периоды она снижалась до нижней границы оптимальной зоны и более.

На орошаемых землях возделывались травы на зеленый корм и на сено. Дождевание в засушливые годы проводилось регулярно (май...сентябрь). За летний период, обычно, проводилось 2...3 полива дождеванием при поливной норме $350 \text{ м}^3/\text{га}$. Но в большей степени орошались пастбища более высокой оросительной нормой (более $1000 \text{ м}^3/\text{га}$). Наряду с орошением дождеванием определенный объем подавался по коллекторам и дренам в межканальное пространство путем подпочвенного увлажнения. В 1987 году, во время посевных работ, из-за отсутствия подпорных сооружений на коллекторах, на орошаемом участке, был сброшен весь объем воды из открытой сети, для обеспечения посевных работ на соседних площадях. Практически, все открытые каналы, на этой территории, были опорожнены, затем, спустя 10 дней, они были заполнены необходимым объемом из реки. Пропуск воды осуществлен по водоподводящему каналу на земли совхоза "XXIV съезд КПСС" и на земли совхоза "Молотковичи".

Уровненный режим на орошаемых землях был следующим: в весеннее время грунтовые воды находились на глубине 100...140 см, летом и осенью -180...200 см. Но уровненный режим, в данном случае, неадекватно отражает режим почвенных влагозапасов. Результаты контроля влажностей почв показывают ее высокую изменчивость, особенно, начиная с июля. Результаты изменения почвенных влагозапасов показаны на рис.5.6. Кроме того, дан ход температур и атмосферных осадков. В целом следует отметить, что во второй половине лета влажность почвы, в отдельные периоды, опускается ниже оптимальной зоны на 2...3%.

Проанализируем режим работы водохранилища "Жидче". Следует отметить, что режим работы водохранилища в 1987...1989 годах изменен по сравнению с предыдущим периодом. В октябре 1986г. водохранилище было опорожнено до минимального значения ($0,9 \text{ млн.м}^3$) и заполнение его началось во второй половине марта 1987 г., одновременно с интенсивным снеготаянием. К концу августа текущего года, объем воды в нем составил около 2 млн.м^3 . В результате таких мероприятий, был значительно уменьшен профильтровавшийся объем воды из водохранилища в осенне-зимний период. В итоге, сократились затраты электроэнергии на перекачку фильтрационных вод на 125 тыс.квт.-ч. Режим заполнения и сработки водохранилища показан на рис.5.6. Объем фильтрационных

потерь (через ложе и откосы водохранилища), в течении шесть лет эксплуатации, остается большим. И единственно верный путь борьбы с фильтрацией в сложившихся условиях - это опорожнение емкости на осенне-зимний период и наполнение ее в весеннее время. Такой режим работы оправдывает себя с точки зрения сокращения затрат электроэнергии, но он, в тоже время, связан с непродуктивным использованием воды при напуске ее в мелиоративные каналы в осеннее время.

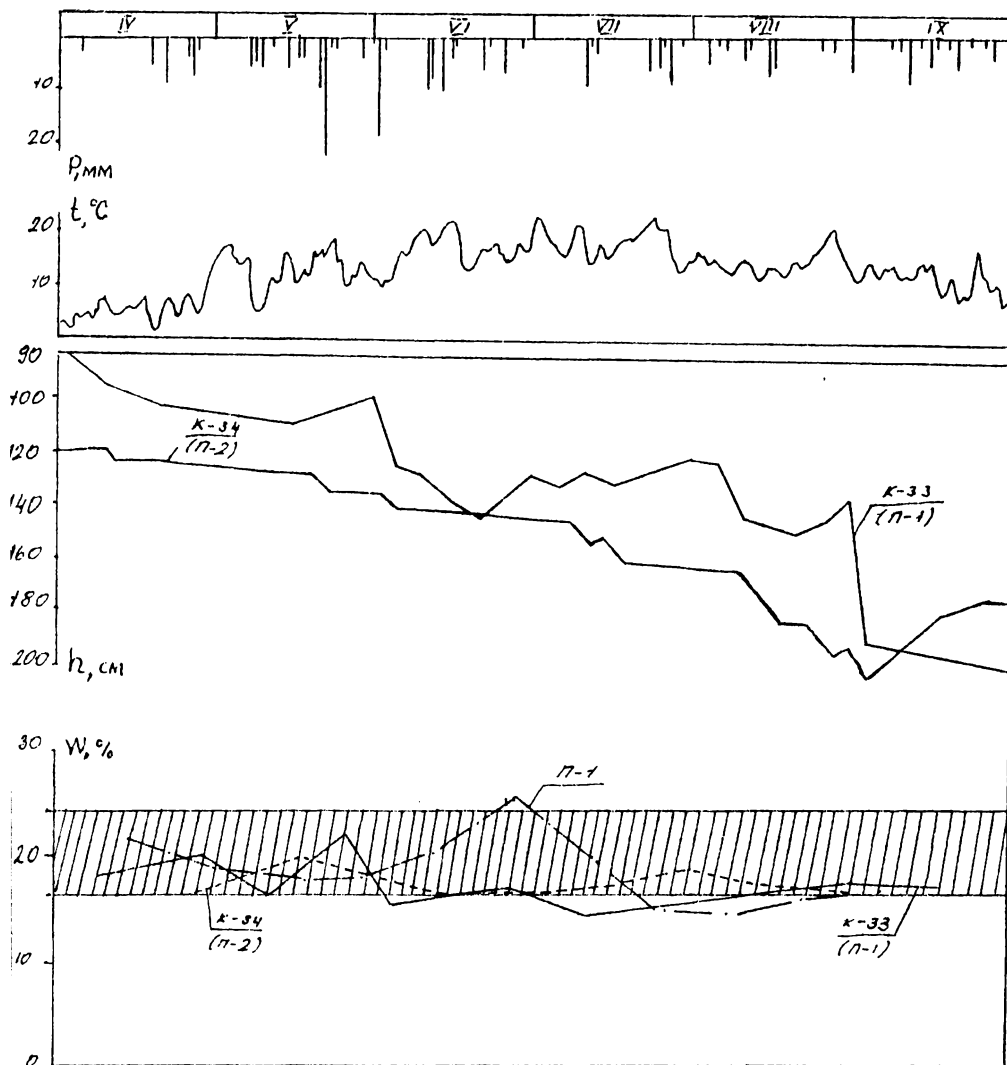


Рис.5.6 Водный режим на орошаемых землях при возделывании трав:

П-1 - площадка ПІ; К - колодцы.

Потери воды на фильтрацию из водохранилища зависят от напора (поливного объема), и эта зависимость четко прослеживается на графике (рис.5.7). Характерным является то, что зависимость меняется с увеличением срока эксплуатации водохранилища. Следует отметить, что абсолютные значения фильтрационных потерь при одинаковых напорах снижаются. Если раньше объем фильтрации при напоре 5 м составлял 26 тыс.м³/сут., то спустя четыре года, он уменьшился до 17 тыс.м³/сут. Эти значения получены измерением расходов воды в придамбовом канале водохранилища, в приоткосовом дренаже и с учетом снижения уровней (горизонтов) воды в водохранилище при отключенных насосных станциях.

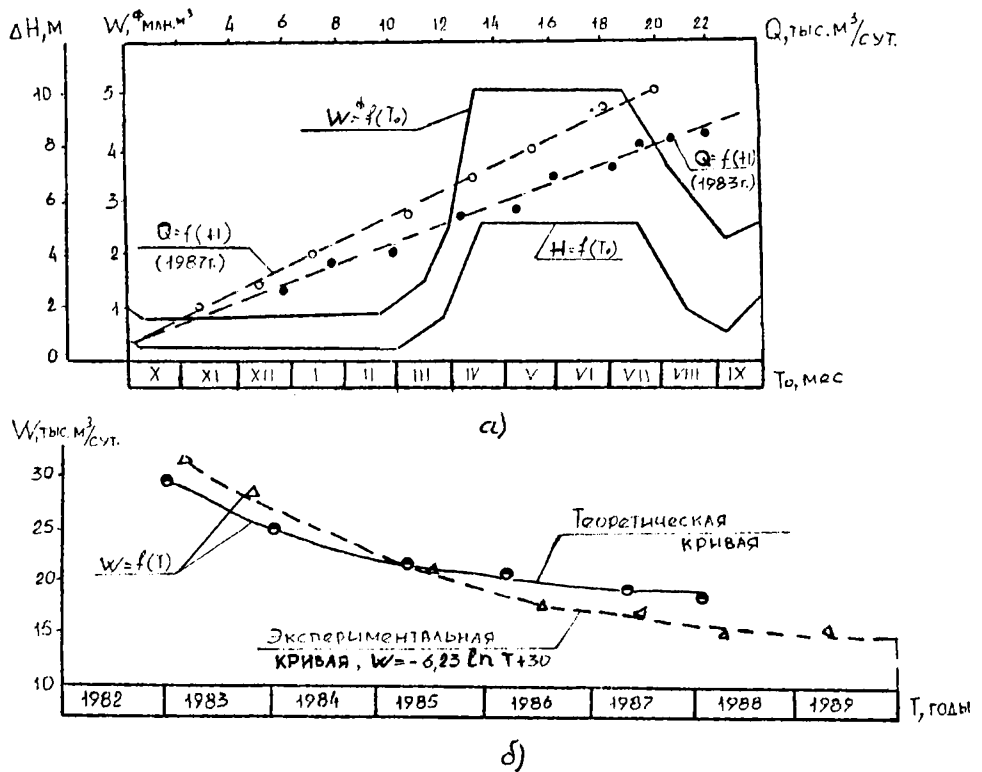


Рис.5.7 Графики зависимости объема фильтрации (W) от напора (H), режима наполнения и сработки (W_ϕ) емкости (а) и изменения объема фильтрации (W) воды во времени (б) на водохранилище "Жидче".

В целом, характер изменения объема фильтрации $W=f(T)$ во времени показывает, что она за пять лет значительно (в 1,9 раза) снизилась, в результате, снизилось или пре-

кратилось выклинивание восходящих токов воды в придамбовом канале и у подножия низового откоса. Эти процессы объясняются кальматацией ложа водохранилища частями торфа и ила, которые поступают вместе с подаваемой водой из мелиоративных каналов.

Влияние кривой снижения фильтрации из водохранилища на прилегающую территорию исследовалось с использованием створов наблюдательных колодцев, расположенных в теле дамбы, которые продолжены в сторону д.Жидче и в восточном направлении (рис.5.8). Было дополнено в каждый створ по три колодца, что увеличило протяженность створов на 200 м. Во время наполнения водохранилища до НПУ, выполнены замеры уровней в колодцах, такие замеры осуществлялись и по мере сработки воды в регулирующей емкости. В теле дамбы кривая депрессии имеет крутой спад; от подножья низового откоса до придамбового канала она становится пологой, в связи с действием двухъярусного дренажа. Минуя придамбовый канал, кривая депрессии выполаживается в большей степени и на участке, дополнительно установленных колодцев, имеет уклон 0,0025. В первом осушительном канале (С-2) уровень воды установился на отметке 137,9 м, при заполненном водохранилище, а в ближайшем колодце N 30, отстоящем от этого канала на 800 м, - на отметке 137,7 м. Считая, что кривая спада на активном своем участке и дальше будет распространяться с таким же уклоном, получим расстояние 320 м. Общий вектор влияния водохранилища на прилегающую территорию равен 520 м, считая границей зоны влияния трассу придамбового канала водохранилища. Таким образом, активное влияние водохранилища на прилегающую территорию составляет около 0,5 км по периметру или по площади подтопления - на 200 га сельскохозяйственных земель. Значит, на данной площади процесс увлажнения идет за счет стихийного подтопления и другие мероприятия должны назначаться с учетом фактического фона увлажненности земель.

Исследованиями Шебеко В.Ф., Михальцевича А.И. и др. [15, 25, 53,] установлено, что на территории Беларуси в засушливые годы наблюдаются дефициты влаги в почве в пределах 100...150 мм. На польдерных системах, следует учитывать грунтовый приток со стороны водоприемников (рек), подтопление площадей от водохранилища и др. Поэтому, при определении регулирующей емкости, необходимо опираться на результаты водохозяйственных расчетов. Согласно им, для года 75% обеспеченности по осадкам, наблюдается дефицит влаги на польдерах (с учетом культур, почв и рельефа местности) в пределах 80...100 мм за вегетационный период.

Уравнение водохозяйственного баланса водооборотной системы имеет вид

$$P + \Pi = Y + E + O + \Phi \pm Z, \quad (5.45)$$

где P - осадки; Π - поступление воды от насосной станции; E - испарение с водной поверхности; Φ - фильтрация из водохранилища через откосы дамбы и основание; O - ис-

пользование воды на орошение; Z - изменение уровня воды в водохранилище в начале и в конце года.

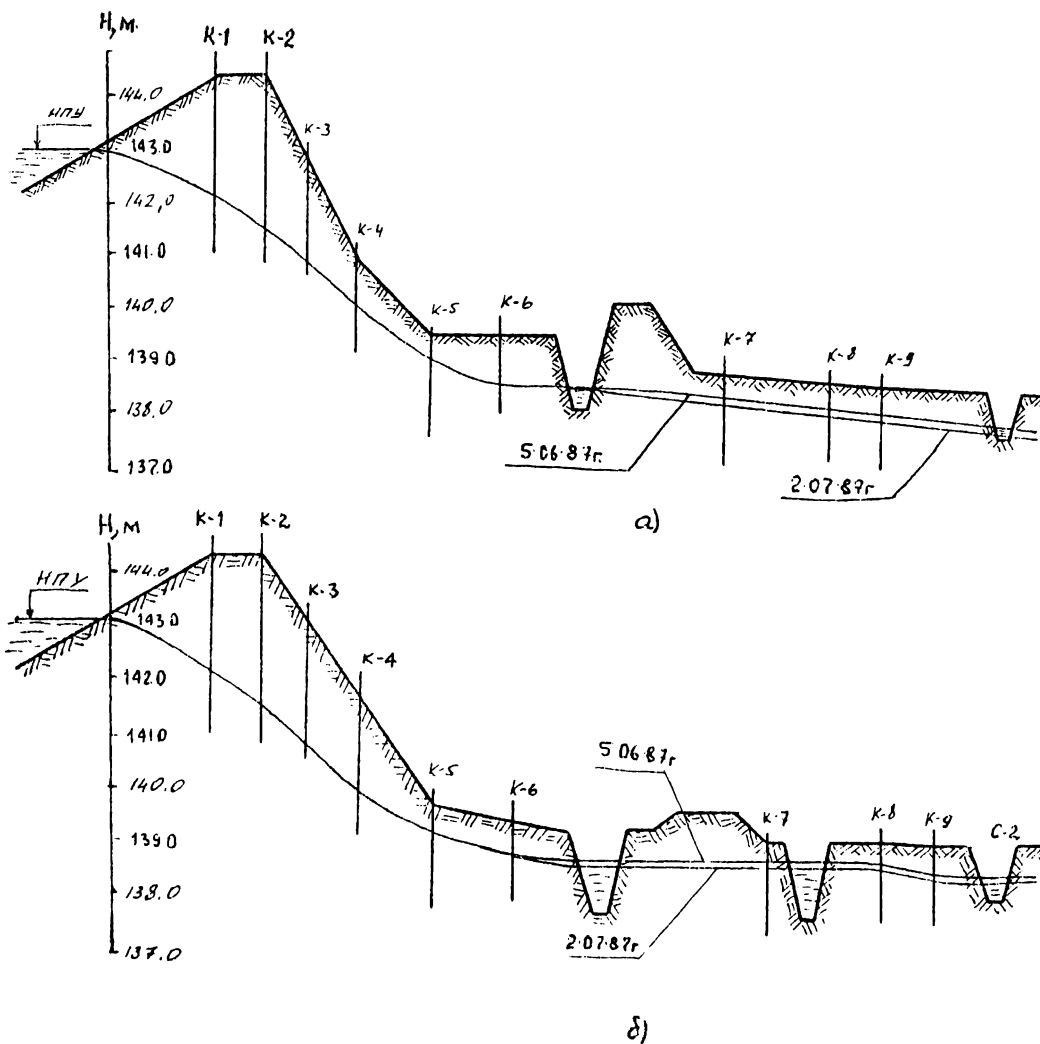


Рис. 5.8 Снижение кривой депрессии в теле дамбы и влияние подпитки водохранилища "Жидче" на прилегающую территорию: а) в северном направлении; б) в восточном направлении.

Таблица 5.3 Водохозяйственный баланс водохранилища "Жидче" (тыс.м³)

№ п.п.	Балансовые элементы, год	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	За год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1986 год		приходная часть												
1	Осадки	41,6	71,5	63,7	62,4	40,3	19,5	50,7	31,2	91,0	71,5	163,8	44,2	751,4
2	Перекачано воды насосной станцией	690	1581	1984	695	537	1242	2914	1364	1484	687	45	1098	15438
														16189,4
		расходная часть												
1	Сброшено воды в реку	78	83	2820	1523	62	0	300	430	775	0	0	2065	8136
2	Фильтрация из водохранилища	450	450	400	270	270	570	630	630	630	390	300	250	5240
3	Испарение с водной поверхности	35	19	3	2,4	2,2	14,2	73	160	156	91	38	36	630
4	Подано на орошение и увлажнение	0	0	0	0	0	0	0	860	936	1100	200	0	3096
5	Аккумулирующая емкость берм и тела дамб	0	0	0	0	30	120	360	0	0	0	0	0	510
														17612
		Невязка баланса 577 тыс.м³ или 3,2%												
1987 год		приходная часть												
1	Осадки	26,0	70,2	32,5	54,6	23,4	89,7	39,0	98,8	104,0	75,4	63,7	97,5	774,8
2	Перекачано воды насосной станцией	0	62	0	0	0	1426	3100	2294	2914	1984	0	310	12090
														12864,8
		расходная часть												
1	Сброшено воды в реку	0	0	0	0	0	0	0	310	682	372	0	0	1364
2	Фильтрация из водохранилища	248	62	62	62	62	248	372	558	558	496	248	186	3162

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	Испарение с водной поверхности	37,8	9,1	4,2	4,2	8,4	14,0	63,0	107,88	129,9 2	148,5	88,35	57,6	672,95
4	Подано на орошение и увлажнение	0	0	0	0	0	0	0	1430	1654	2072	744	360	6260
5	Аккумулирующая емкость берм и тела дамб	0	0	0	0	0	120	380	0	0	0	0	0	500
														11959
Невязка баланса 906 тыс.м³ или 7,6%														
1988 год		приходная часть												
1	Осадки	35,1	59,8	88,4	41,6	45,5	63,7	39,0	79,3	247,0	126,1	140,4	78,0	1043,9
2	Перекачано воды насосной станцией	372	124	1116	744	930	806	3100	1240	4588	2294	2170	3100	20584
														21627,9
расходная часть														
1	Сброшено воды в реку	0	0	1000	340	233	0	2600	140	3900	1700	1370	2600	14083
2	Фильтрация из водохранилища	279	270	186	186	186	248	480	527	527	527	527	480	4423
3	Испарение с водной поверхности	27,0	10,8	5,4	10,8	16,2	26,1	81,2	128,76	100,9 2	165,88	128,7 6	88,16	790
4	Подано на орошение и увлажнение	0	0	0	0	0	0	0	496	62	62	0	0	620
5	Аккумулирующая емкость берм и тела дамб	0	0	0	0	0	130	270	0	0	0	0	0	400
														20316
Невязка баланса 888 тыс.м³ или 4,1%														

Составляющие баланса в основном получены путем натурных изменений и только испарение с водной поверхности - расчетным путем. Результаты расчетов сведены в табл.5.3 как для двух маловодных лет (1986, 1987), так и для многоводного года (1988).

На основании натурных измерений расходов фильтрационных вод в придамбовом канале, дренажных коллекторах двухъярусного дренажа, с учетом общего снижения уровней воды в водохранилище за расчетный промежуток времени, когда не работают насосные станции на подкачку, была получена зависимость между напором и расходом

$$Y = a \cdot X + B, \quad (5.46)$$

где Y - значения объема фильтрации, соответствующие определенному напору, тыс.м³; X - значения напоров, м; a - угловой коэффициент; B - свободный член уравнения.

Зависимость между расходом фильтрационных вод и напором по состоянию на 1987 год имеет вид

$$W = 3,67 \cdot H - 1,83, \quad \text{при } H \geq 0,5 \text{ м}, \quad (5.47)$$

на 1988 год -

$$W = 5,88 \cdot H - 2,94, \quad \text{при } H \geq 0,5 \text{ м}. \quad (5.48)$$

Для наилучшего выбора аналитической зависимости $W=f(T)$, соответствующей фактическому графику, определены: среднеарифметическое, среднегеометрическое, среднегармоническое значения величин X_i и Y_i и соответствующие им ошибки, которые помогли установить общий вид функции - $y = a \cdot \ln x + b$.

Методом наименьших квадратов, получено конечное уравнение, имеющее вид

$$Y = -6,23 \cdot \ln x + 30. \quad (5.49)$$

Полученный график связи $W=f(T)$ между объемом фильтрации и временем эксплуатации приведен выше, на рис.5.7⁶.