

## **ГЛАВА 5. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА**

В последние десятилетия изменение климатических характеристик и появление новых информационных технологий, обусловили необходимость учитывать их при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем. Следовательно, требуется актуализация различных нормативных документов, используемых в современных условиях и методик математического моделирования. Некоторые аспекты такого рода актуализации рассматриваются как основные задачи с соответствующими предложениями по их решениям в ниже приведенных работах.

### **5.1. Оросительная способность типичной малой реки Воронежской области (Маркин В.Н.)**

Воронежская область – это один из ведущих аграрных регионов России. Благоприятные климатические условия и плодородные почвы, в т.ч. черноземы, позволяют получать высокие урожаи. Лимитирующим фактором развития растениеводства являются низкие влагозапасы, которые усугубляются периодическими засухами (каждые 3...5 лет) [77]. Вероятность необходимости орошения разных сельскохозяйственных растений составляет 45...65%. Развитие орошаемого земледелия связано с наличием источников воды. Водообеспеченность населения области местным стоком очень низкая 1400 м<sup>3</sup>/чел. в год [56]. Поэтому вопросы, связанные с оценкой оросительной способности источников, остаются актуальными. Их решение связано с определением объемов экологически допустимого ресурса воды для орошения и оросительной нормы. Последняя должна учитывать потребности не только растений, но и почв. В этом случае можно говорить о почвоохранном орошении.

Река Девица это характерная для степной зоны северо запада Воронежской области малая река (длина 89 км, площадь бассейна 1520 км<sup>2</sup>). Обоснование ее использование для целей орошения представляет практический интерес.

Цель работы - определить оросительную способность реки Девица с учетом экологически допустимого изъятия воды и почвоохранной оросительной нормы.

Объемы экологически допустимого стока реки Девица ( $W_{эк}$ ) определены «Универсальным методом» [94]. Метод основан на определении степени сохранности природных условий при оказании на систему антропогенного воздействия. Сохранность может соответствовать разным допустимым уровням экологического состояния: «Хорошему» и «Удовлетворительному». «Хорошее» состояние соответствует антропогенному воздействию, которое изменяет природную систему (сток реки) менее чем на 20% (степень сохранения естественного состояния  $\Delta P \geq 80\%$ ). «Удовлетворительное» состояние соответствует сохранению не менее 60% ( $60\% \leq \Delta P < 80\%$ ) природных естественных условий. Степень сохранности экосистемы определяется как площадь перекрытия кривых распределения рассматриваемого фактора (в данном случае объема речного стока) без учета антропогенного воздействия (естественные условия  $W_{ест}$ ) и с учетом (фактические условия  $W_{ф}$ ). Кривые распределения фактических условий строятся с учетом безвозвратного водопотребления ( $\Delta W$ ), которое задается в долях нормы стока (для удобства проведения расчетов и возможности переноса полученных результатов на реки аналоги):

$$W^{P\%} \phi_j = W^{P\%} \text{ест} - \Delta W_j, \quad (5.1)$$

где  $P\%$  - обеспеченность года по стоку реки (0,01...99%),  $j$ - номер задаваемого объема водопотребления ( $\Delta W_j = 0 \dots 80\% W_0$ . Условие  $\Delta W = 0$  соответствует степени сохранности системы  $\Delta P = 100\%$ );  $W_0$  – норма стока.

Оросительная способность реки определена на основе расчетов водохозяйственного баланса, учитывая, что использование реки осуществляется для целей:

- сельскохозяйственного водоснабжения ( $W_{c/x}$ ), которое использует грунтовые воды, гидравлически связанные с рекой (коэффициент гидравлической связи принят  $\alpha = 0,3$ ), а возвратные воды сбрасываются в реку;
- орошения ( $W_{op}$ ).

В работе определяется потенциальная оросительная способность реки без регулирования стока и с учетом полного годичного регулирования для целей орошения. Поэтому при проведении водобалансовых расчетов объем водопотребления для орошения определялся, как свободный ресурс воды ( $W_{св}$ ), для условий:

- водохозяйственный баланс в напряженный месяц поливного периода равен нулю ( $MBXB_{\text{мин}} = 0$ ). Напряженный - месяц с минимальным значением величины баланса;
- годовой водохозяйственный баланс равен нулю ( $BXB = 0$ ).

Уравнение водохозяйственного баланса использовалось в следующем виде:

$$MBXB = W_{\text{ест}} + W_{\text{пв}} + \sum W_{\text{вв}} - \sum W - \alpha \cdot W_{\text{пв}} - W_{\text{эк}}, \quad (5.2)$$

$$\sum W_{\text{вв}} = W_{\text{op вв}} + W_{\text{с/х вв}} \quad W_{\text{вв}} = K_{\text{вв}} \cdot W$$

где  $W_{\text{пв}}$  – водопотребление из подземных вод ( $W_{\text{пв}} = W_{\text{с/х}}$ );  $\sum W_{\text{вв}}$  – сумма объемов возвратных вод;  $K_{\text{вв}}$  – коэффициент возвратных вод: для орошения принят  $K_{\text{op вв}} = 0,1$ ; сельского коммунально-бытового хозяйства  $K_{\text{скбх вв}} = 0,5$ ; для животноводства:  $K_{\text{ж вв}} = 0,5$  (КРС, МРС, свиньи) и 0,0 для птиц.

Оросительная способность ( $F_{ор}$ ) зависит от оросительной нормы ( $M$ ), коэффициента полезного действия оросительной системы ( $\eta=0,85$  – дождевание) и объема свободного ресурса воды:

$$F_{ор} = \frac{W_{св} \cdot \eta}{M}, \text{га} \quad (5.3)$$

Оросительная норма определена с учетом обеспечения приемлемых условий для растений и почв, с помощью зависимости относительной биопродуктивности от оросительной нормы. Приемлемые условия принимаются на уровне относительной биопродуктивности  $S \geq 0,8$  от максимально возможной в конкретных условиях.

$$S = Y_i / Y_{\text{макс}}, \quad (5.4)$$

где  $Y_i$  – фактическая биопродуктивность (для растений – урожайность, для почв – биопродуктивность индикаторного вида почвенной биоты) в  $i$ -ый год;  $Y_{\text{макс}}$  – максимально возможная биопродуктивность в конкретных условиях.

Расчеты проведены для сорта среднеспелой белокочанной капусты, который выведен для Воронежской области.

В качестве индикаторов экологического состояния почв использованы микроорганизмы.

Функция относительной биопродуктивности от оросительной нормы описывается моделью В.В. Шабанова, которую он впервые опубликовал в 1981 году в монографии «Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет»:

$$S_w = \left( \frac{(w - w_0) \times \frac{M}{M_{opt}} + w_0}{w_{opt}} \right)^{\gamma \cdot w_{opt}} \times \left( \frac{1 - \left[ (w - w_0) \times \frac{M}{M_{opt}} + w_0 \right]}{1 - w_{opt}} \right)^{\gamma \cdot (1 - w_{opt})} \quad (5.5)$$

где  $w_{opt}$  – оптимальное относительное значение влагозапасов в слое 0...50 см почвы;  $\gamma$  – коэффициент, характеризующий степень саморегулирования растений к водному режиму почв;  $w_0$  – относительные средние в засушливый год 75% обеспеченности влагозапасы;  $M$ ,  $M_{opt}$  – соответственно, текущая и биологически оптимальная оросительные нормы.

Получить аналогичную зависимость для микроорганизмов возможно, если знать оптимальную для них оросительную норму и коэффициент саморегуляции. Поэтому рассмотрена функция требований микроорганизмов к почвенным влагозапасам, т.е. зависимость их биопродуктивности от влагозапасов, которая описывается моделью [175].

$$S_w = \left(\frac{w}{w_{opt}}\right)^{Y \cdot w_{opt}} \times \left(\frac{1-w}{1-w_{opt}}\right)^{Y \cdot (1-w_{opt})} \quad w = \frac{W-B3}{ПВ-B3} \quad (5.6)$$

где  $w$  – относительное значение влагозапасов;  $W$ - влагозапасы, мм;  $ПВ$  – полная влагоемкость;  $B3$ -влагозапасы на уровне влажности завядания.

Оптимальная влажность почвы для микроорганизмов взята на уровне 50% объема почв. Коэффициент саморегуляции был подобран с учетом граничных (без орошения биопродуктивность соответствует богарным условиям) и оптимальных условий (оптимальная оросительная норма обеспечивает оптимальную влажность для организмов).

Объем экологически допустимого изъятия воды, позволяющего сохранить «хорошее» состояние реки, определен на уровне 16% от нормы стока. Целевому уровню «удовлетворительного» состояния речной экосистемы допустимое изъятие оценивается в 32%. При этом, объем экологического стока, соответственно, составит 84% и 68%:

$$W^{P\%}_{эк} = K_{эк} \cdot W^{P\%}_{ест}, \quad (5.7)$$

$K_{эк}=0,84$  - экологическое состояние реки «хорошее»;

$K_{эк}=0,68$  - экологическое состояние реки «удовлетворительное».

Имитационные расчеты показали, что ресурс воды для не зарегулированной реки в год 75% обеспеченности (экологический сток соответствует «хорошему» состоянию реки) по напряженному месяцу (минимальное значение  $МВХБ=0,68$  млн.м<sup>3</sup> в 7 и 8 месяцах) составляет (в целом за поливной период с учетом внутригодового распределения оросительной нормы) 3,42 млн.м<sup>3</sup>. Это позволяет оросить 1,02 т.га при использовании оросительной нормы 2850м<sup>3</sup>/га (капуста).

Свободный ресурс воды в целом за год 75% обеспеченности (сохранение «хорошего» экологического состояния реки) составляет 23,73 млн.м<sup>3</sup>. Полезный объем ирригационного водохранилища полного годичного регулирования стока составит 15,25 млн.м<sup>3</sup>. Коэффициент зарегулированности стока равен 0,09. Оросительная способность источника - 4,55 т.га.

Ресурс воды для не зарегулированной реки в год 75% обеспеченности (экологический сток соответствует «удовлетворительному» состоянию реки) по напряженному месяцу (минимальное значение МВХБ=1,42 млн.м<sup>3</sup> в 7 и 8 месяцах) составляет (в целом за поливной период с учетом внутригодового распределения оросительной нормы) 7,09 млн.м<sup>3</sup>. Это позволяет оросить 2,12 т.га.

В целом за год свободный ресурс равен 41,51млн.м<sup>3</sup>, что позволяет создать полезный объем водохранилища полного годичного регулирования стока 30,86 млн.м<sup>3</sup>. Коэффициент зарегулированности стока равен 0,18. Оросительная способность источника составит 9,02 т.га.

Для оценки оросительной способности при выращивании других культур получена зависимость орошаемой площади от оросительной нормы:

состояние реки «хорошее»:

- без регулирования стока  $F_{ор} = \frac{2876}{M}$ , т. га
- с регулированием стока  $F_{ор} = \frac{13019}{M}$ , т. га

состояние реки «удовлетворительное»:

- без регулирования стока  $F_{ор} = \frac{5981}{M}$ , т. га
- с регулированием стока  $F_{ор} = \frac{26200}{M}$ , т. га

Определение почвоохранной оросительной нормы основано на учете требований растений и почвы. Учет требований растений позволяет получать высокие урожаи, но при этом происходит ухудшение условий почвообразования. Последние оцениваются по состоянию индикаторных видов почвенных организмов. Учет их требований позволяет сохранить почвенное плодородие, или даже увеличить его. Поэтому необходим компромисс. Возможны ситуаций.

А. Требования растений (влаголюбивых) и почв значительно различаются. Возможны два случая (рисунок 5.1А). Случай 1 – достаточно высокая биопродуктивность почв и низкая урожайность растений. Случай 2 – наоборот, достаточно высокая урожайность растений и низкая биопродуктивность почв (потеря почвенного плодородия). Данные случаи решаются приоритетным способом. Отдается приоритет, например, высокой урожайности растений. Доля данной культуры в севообороте должна быть небольшой, чтобы, с учетом ротации культур севооборота, компенсировать ущерб наносимый почве при выращивании на данной площади другой культуры. Приоритет может быть отдан повышению плодородия почв, но выращивание культуры экономически не выгодно, надо заменить ее другой культурой или, например, устроить сидеральный пар.

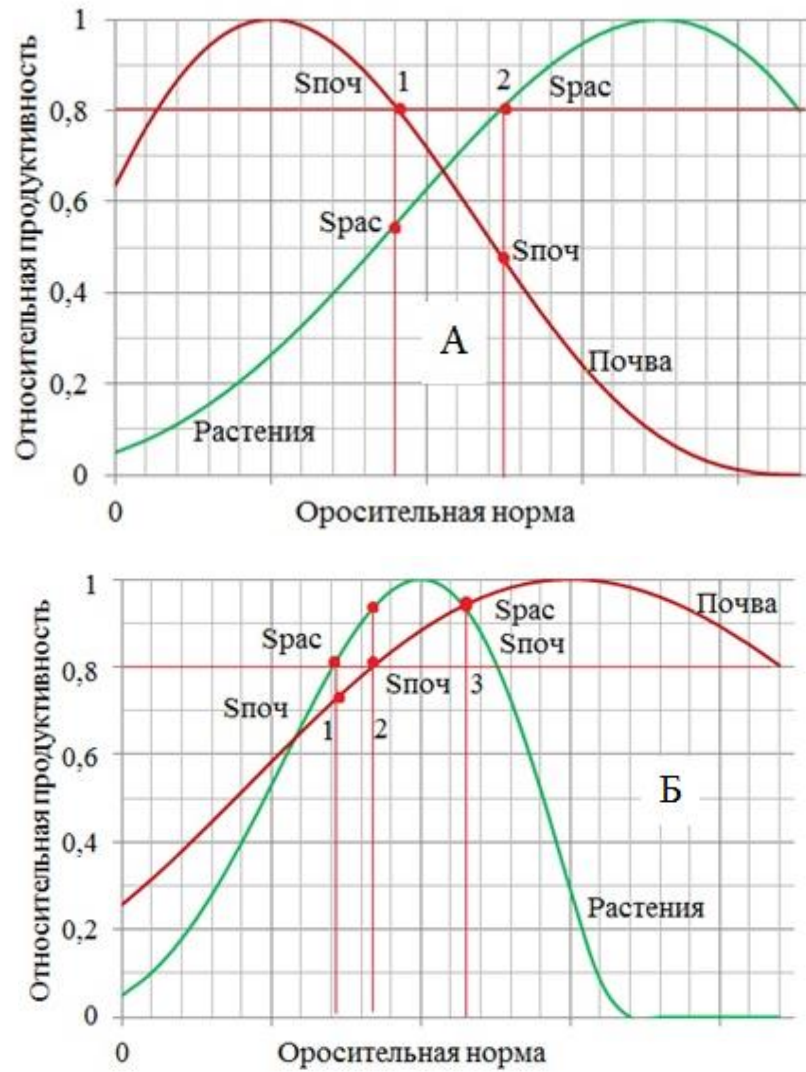


Рисунок 5.1 – Варианты А - значительное несоответствие требований растений и почв (влаголюбивые растения), Б - значительное несоответствие требований растений и почв (растения мало требовательные к воде)



Б. Требования растений (мало требовательных к воде) и почв значительно различаются. Возможны случаи (рисунок 5.1Б). Случай 1 – пониженная эффективность почвообразования. Увеличивается оросительная норма, которая позволяет получать биопродуктивность почв на запланированном уровне (например  $S_{\text{почв}}=0,8$ ) при повышении урожайности растений выше запланированной. Или ситуация решается приоритетным способом, как для случаев (рисунок 5.1А). Случай 2 – благоприятный и для растений и почв. Оросительная норма выбирается по минимальному (но приемлемому) варианту биопродуктивности. Случай 3 – уступает (или даже не уступает) по биопродуктивности случаю 2, но нерационально расходует воду (повышенная оросительная норма больше биологически оптимальной для растения). Возможно снижение оросительной нормы для перехода к случаю 2.

В. Требования растений и почв хорошо соответствуют друг другу (рисунок 5.2). Выделяется некоторая область оптимальных решений, в пределах которой ищется компромиссное технико-экономическое решение с минимальными затратами.



Рисунок 5.2 – Вариант В - хорошее соответствие требований растений и почв

Рассматриваемая в работе ситуация соответствует варианту А. Приоритет отдается охране почв, учитывая, что снижение урожайности растений приемлемое для практических целей (не более 5%). Оросительная способность переопределена (табл.) с использованием почвоохранной оросительной нормы (на примере капусты) 1800 м<sup>3</sup>/га.

Таблица 5.1

**Оросительная способность реки Девица (в разных размерностях) с учетом почвоохранной оросительной нормы 1800 м<sup>3</sup>/га в условиях регулирования и без регулирования стока**

Условия использования	Оросительная способность		
	т.га	га/млн.м <sup>3</sup> нормы стока	% от площади бассейна
Сохранение «хорошего» экологического состояния реки			
Без регулирования	1,60	9,43	1,07
Регулирование	7,23	42,61	4,85
Сохранение «удовлетворительного» экологического состояния реки			
Без регулирования	3,32	19,57	2,23
Регулирование	14,55	85,75	9,76

При использовании почвоохранной оросительной нормы относительная продуктивность растений и почв составит, соответственно:  $S_p=0,7$  и  $S_{п}=0,8$ . Урожайность капусты, при максимально возможной  $Y_{p \text{ макс}}=785$  ц/га [Сорта...] составит 550 ц/га. При соотношении надземной и подземной биомассы 1:0,3 и содержание углерода в растении 45%, получим что поглощение углерода (ПС) при орошении составит:

$$ПС_{ор}=(S_p * Y_{p \text{ макс}} * 0,45 + S_{п} * Y_{p \text{ макс}} * 0,3 * 0,45) / 10, \text{ т/га} \quad (5.8)$$

$ПС_{ор}=32$ т/га, а без орошения (в богарных условиях)  $ПС_{б}=16$ т/га

Таким образом, при орошении, дополнительное снижение углеродного следа составит 16 т/га или, учитывая оросительную способность, при целевом уровне сохранения реки «хорошем» и «удовлетворительном» с учетом регулирования стока 11,6 и 23,3 тыс.т в год.

- Объем экологически допустимого стока реки Девица составляет 84% естественного стока реки в год соответствующей обеспеченности (сохранение экологического состояния водного объекта на уровне «хорошем») и 68% (сохранение экологического состояния водного объекта на уровне «удовлетворительном»).

- Рассмотрены подходы к определению почвоохранной оросительной нормы, учитывающий требования растений и почв. При выращивании капусты белокочанной, оросительная норма  $1800\text{м}^3/\text{га}$  позволяет получать урожаи на уровне 0,7 от максимально возможной в конкретных условиях и биопродуктивность почв не менее 0,8.

- Максимальная оросительная способность реки Девица в зависимости от оросительной нормы (средневзвешенной для орошаемого севооборота) составит

$$F_{\text{ор}} = \frac{26200}{M}, \text{ т. га.} \quad (5.9)$$

- Полное годовое регулирование позволяет создать максимальную полезную емкость ирригационного водохранилища  $30,86 \text{ млн. м}^3$  при коэффициенте зарегулированности 0,18.

- При орошении поглощение углерода увеличивается по сравнению с богарными условиями на  $16\text{т}/\text{га}$ , что соответствует поглощению углерода, с потенциально возможной орошаемой площади, на  $23,3 \text{ тыс. т}$  в год.

## **5.2. Краткосрочное прогнозирование паводкового стока для управления водохранилищем ирригационно-противопаводочного назначения (Ермолаева О.С., Ильинич В.В., Кузнецова Е.В., Перминов А.В.)**

Как надёжность плановой водоотдачи, так и безопасность гидрологических сооружений ирригационно-противопаводочного водохранилища зависит от Правил управления водохранилищем при появлении