

ОЦЕНКА НЕПРОДУКТИВНЫХ ЗАТРАТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВЫЗВАННЫХ ВТОРИЧНЫМИ ЭФФЕКТАМИ ОРОШЕНИЯ

А. Каримов^А, И. Грачева^Б, П. Мирюсупов^Б

^а Международный Институт Управления Водными Ресурсами (ИВМИ), Региональный Офис
по Центральной Азии,

E-mail address: a.karimov@cgiar.org.

^б Институт Гидрогеологии и Инженерной Геологии (ГИДРОИНГЕО)

Абстракт

Вторичные эффекты развития орошаемого земледелия, ассоциированные с почвенными и водными ресурсами, остаются в тени высоких, но часто временных выгод сельскохозяйственного производства. “Теневые вторичные эффекты” сопряжены с вынужденными дополнительными затратами водных ресурсов, которые не учитываются в стадии проектирования ирригационных и дренажных систем. В данной статье предлагается оценивать непроизводительные затраты водных ресурсов с использованием моделей качества подземных вод.

Ключевые слова: Вторичные эффекты орошения; непроизводительные потери; моделирование качества подземных вод; речной бассейн.

Введение

Часто, эффективность орошаемого земледелия оценивается по прямым выгодам использования водных ресурсов, такие как урожайность сельскохозяйственных культур или расход оросительной воды на единицу продукции. В то же время имеет место негативное вторичное влияние орошения на ассоциированные почвенные и водные ресурсы и нижнее течение рек, что остается в тени высоких, но часто временных выгод сельскохозяйственного производства. Рано или поздно, эти теневые издержки орошения требуют дополнительных непроизводительных затрат водных ресурсов. Эти дополнительные затраты включают объемы водных ресурсов которые необходимы для восстановления качества поверхностных и подземных вод и мелиоративного состояния земель, ухудшение которых произошло как следствие не рациональных методов орошаемого земледелия.

Необходимость учета непроизводительных затрат водных ресурсов была отмечена многими авторами (Молден, 1997; Рубинова, (1979, 1987); Мирзаев, 1990). Молден (1997) разработал методику учета использования водных ресурсов направленную на оценку продуктивных и непродуктивных затрат от уровня поля до бассейна, и предложил индикаторы эффективности использования водных ресурсов. Рубинова (1979; 1987) рассчитала затраты водных ресурсов для бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи, при этом детально оценив потери воды в русле рек и чаше водохранилищ. Мирзаев (1990) существенное сокращение непродуктивных потерь водных ресурсов считал основой для создания бессточных (замкнутых) систем орошения. В данной статье предлагается оценивать возможные непроизводительные затраты водных ресурсов, ассоциированные с вторичными эффектами орошения земель, такие как постепенное повышение степени засоления земель, повышение минерализации грунтовых, дренажных и речных вод. Для прогнозирования минерализации воды в системе оросительная вода – грунтовая - дренажная - речная вода используется модель качества подземных вод исследуемой ирригационной системы.

**Непродуктивные затраты водных ресурсов как следствие нерациональных методов
орошения земель**

К дополнительным затратам водных ресурсов ассоциированным с вторичными эффектами орошения земель можно отнести:

- (1) Отвод дренажных или не использованных вод в бессточные понижения на физическое испарение. Эта часть водных ресурсов не доступна для использования водопользователями расположенными ниже по течению рек;
- (2) Дополнительные затраты водных ресурсов из-за повышения концентрации солей в речной воде в нижнем течении как следствие сброса минерализованных дренажных вод в русла рек в верхнем течении;
- (3) Затраты водных ресурсов на пополнение запасов минерализованных подземных вод, которые затем не могут быть извлечены экономически оправданными методами или непригодны по качеству для дальнейшего их использования;
- (4) Дополнительные затраты водных ресурсов из-за ухудшения качества подземных вод в результате поступления минерализованных вод из зоны аэрации или смешения подземных вод различного качества;
- (5) Увеличение промывных норм из-за приближения уровня грунтовых вод к поверхности земли и усиления процессов накопления солей в верхних слоях почвы.

(1) В результате нерациональных приемов орошения земель на засоленных землях формируются дренажные воды высокой минерализации, которые не пригодны для орошения большинства возделываемых культур. Поэтому эти воды отводятся в бессточные понижения или озера и расходуются на непродуктивное испарение. Примером таких озер являются Арнасайское в среднем течении р. Сырдарья и Сарыкамышское в нижнем течении р. Амударья. Приток минерализованных вод в Арнасайское понижение составляет в среднем 2500 Мм³/год и в Сарыкамышское около 6000 Мм³/год. Минерализация этих вод изменяется в пределах 5000-6000 мг/л. Имеют место случаи, когда в понижения, вынуждено, отводятся воды хорошего качества из-за отсутствия свободных регулировочных емкостей водохранилищ и незапланированных пусков по рекам. Этот случай имеет место в бассейне р. Сырдарья в зимний период в результате пропуска по реке гидроэнергетических пусков и бокового притока дренажных вод. В этих условиях часть стока реки сбрасывается в Арнасайское понижение, распространенное в ее среднем течении. Общий объем стока отведенного в понижение начиная с 1992г превышает 40,000 Мм³.

Орошение земель часто сопряжено со сбросом минерализованных дренажных вод в русло рек, что приводит к ухудшению качества речной воды. В странах аридной зоны имеется много примеров повышения минерализации речных вод. Примерами таких рек являются реки Колородо в штате Калифорния (США) и Муррей в штате Виктория (Австралия) (Oosterbaan, 1988). Повышенная минерализация воды в этих реках приводит к постепенному накоплению солей в почвогрунтах. Аналогичные процессы свойственны бассейнам рек Сырдарья и Амударья, природная минерализация воды в которых в верхнем течении не превышает 500 мг/л. Однако в нижнем течении рек, в основном из-за поступления в ее русло минерализованных дренажных вод, она уже составляет 1200-2000 мг/л (Рубинова, 1979; Абдуллаев, 2007). При использовании вод повышенной минерализации, фермеры в зимний период вынуждены применять большие промывные поливы, а в летний завышенные поливные нормы для удаления токсичных солей из зоны аэрации. В этом случае, дополнительные промывные поливы в нижнем течении можно рассматривать как следствие сброса минерализованных дренажных вод в русло реки в верхнем.

(2) Фильтрационные потери из оросительной сети и каналов и инфильтрационные воды с орошаемых полей пополняют грунтовые воды. Часть этих ресурсов не участвует в формировании возвратных вод и пополняет запасы минерализованных подземных вод. В этом случае, объемы водных ресурсов, накопленные в подземных емкостях можно отнести к

непроизводительным затратам. Этот тип затрат водных ресурсов встречается в нижнем течении рек, где изначально до освоения земель уровень грунтовых вод располагался глубоко, а почвогрунты имели глубокие солевые горизонты. Оросительная система Мирзачуля в среднем течении Сырдарьи, Каршинской степи и части Бухарского оазиса в среднем течении Амударьи являются примерами таких ирригационных зон. Так, потери из оросительной сети и каналов после освоения Каршинской степи в 1970-е годы привели к накоплению в подземных емкостях более 2,000 Мм³ водных ресурсов с минерализацией от 3,000 до 10,000 мг/л (Рубинова, 1987). Эти грунтовые воды можно отнести к непроизводительным затратам из-за дороговизны их отбора и плохого их качества.

(3) Дополнительные затраты водных ресурсов имеют место, когда происходит постепенное засоление верхнего слоя почв в результате близкого залегания уровня грунтовых вод. В мире имеется много примеров, когда орошение земель сопровождалось подъемом уровня грунтовых вод и постепенным засолением земель. Долина р. Инд в Пакистане, дельта Нила в Египте, Мирзачуль в бассейне р. Сырдарья и Каршинская степь в бассейне р. Амударья являются примерами проявления этого негативного процесса (Oosterbaan, 1988; Kumar et. al., 2003; Икрамов, 2009). Мелиорация этих почв требует дополнительных непроизводительных затрат водных ресурсов.

Большинство отмеченных вторичных эффектов орошения проявляется не сразу, а значительно позже после начала освоения земель, и их заблаговременное выявление требует анализа многолетних данных и моделирования процессов. Модели качества подземных вод позволяют дать количественную и качественную оценку указанных эффектов орошения земель. Совмещение этих моделей и альтернативных стратегий реабилитации ирригационных систем позволит учесть указанные процессы при различных сценариях использования водных ресурсов.

Методика оценки вторичных эффектов орошаемого земледелия

Вторичные эффекты орошаемого земледелия могут быть оценены с использованием моделей подземных вод исследуемой территории. Трехмерные модели подземных вод могут быть разработаны на базе программного комплекса MODFLOW (Harbaugh et al., 2000), используемой для целей прогнозирования уровня подземных вод; PEST для оптимизации параметров (Waterloo Hydrogeologic Inc., 2000); MTD3 или SEAWAT для прогнозирования качества подземных вод; и ZoneBudget (Harbaugh et al., 2000) для водно-баласовых расчетов. Выходом модели являются значения показателей характеризующих вторичные эффекты орошения земель, такие как: (1) отток дренажных вод в понижения или русло рек; (2) подземный отток в понижения или в русло рек; (3) запасы и качество подземных вод; (4) площадь земель с положительным солевым балансом, указывающая на процессы засоления солей.

Методика оценки непродуктивных затрат водных ресурсов

Оценка величины непродуктивных затрат водных ресурсов основана на подходах предложенных в работе Молдена (1997). Объем непродуктивных затрат водных ресурсов обусловленных вторичными эффектами орошения может быть рассчитан следующим образом

$$\sum Z = Z_l + Z_r + Z_g + Z_s, \quad (1)$$

где $\sum Z$ – суммарные непродуктивные затраты водных ресурсов, связанные с засолением водно-земельных ресурсов, Z_l – отвод дренажных вод в бессточные понижения, Z_r – вторичные затраты водных ресурсов связанные с отводом минерализованных дренажных вод в русло рек, Z_g – пополнение запасов минерализованных подземных вод, Z_s – вторичные затраты водных ресурсов, связанные с засолением земель и проведением промывных поливов.

Методика определения составляющих непродуктивных затрат водных ресурсов приведена ниже.

1. Определение объема затрат водных ресурсов отводимых в понижения (Z_l)

Орошение земель может привести к формированию дренажных вод с высокой концентрацией солей. Эти воды обычно отводят в понижения для последующего испарения. Величина дренажных вод отводимых в понижения принимается как непродуктивная затрата водных ресурсов. При наличии гидроэнергетических зимних попусков и дефиците свободных емкостей водохранилищ, величина дренажных вод отводимых в русло рек в зимний период может быть отнесена к непродуктивным затратам. Это связано с тем, что совпадение по времени пика зимних энергетических попусков по реке и поступления дренажных вод в ее русло может привести к дефициту емкостей для регулирования стока в нижнем течении, затоплению земель паводковыми водами и вынужденным сбросам пресных вод в местные понижения.

2. Вторичные затраты водных ресурсов из-за поступления минерализованных дренажных вод в русло рек (Z_r)

Поступление минерализованных дренажных вод в русло рек в летний период повышает концентрацию солей в речной воде и требует увеличения оросительных норм при ее использовании ниже по течению. Величина вторичных затрат водных ресурсов может быть рассчитана в зависимости от объема (D_s) и минерализации (C_d) дренажных вод по следующей формуле

$$Z_r = D_s * (C_d - C_p) / (C_p - C_r), \quad (2)$$

где Z_r – затраты речной воды с минерализацией C_r на снижение концентрации растворенных солей в дренажных водах объемом D_s и минерализацией C_d до допустимых значений C_p , в мг/л.

3. Вторичные затраты водных ресурсов связанные с ухудшением качества ПВ в результате смешения вод различных горизонтов (Z_g)

Смешение вод различных горизонтов и нисходящие токи солей из зоны аэрации приводят к повышению концентрации солей в подземных водах. Вторичные затраты водных ресурсов на восстановление качества подземных вод могут быть рассчитаны как

$$Z_g = W_g * (C_g - C_p) / (C_p - C_r), \quad (3)$$

Где W_g - объем подземных вод с минерализацией C_g , C_p – допустимая минерализация подземных вод в мг/л, C_r – минерализация воды в источнике, в мг/л.

При глубоком до начала освоения земель залегании уровня грунтовых вод и слабом оттоке подземных вод, потери оросительной воды не формируют возвратные воды, а идут на пополнение минерализованных подземных вод. В этом случае потери воды на заполнение подземных емкостей могут быть отнесены к непроизводительным затратам водных ресурсов.

4. Затраты водных ресурсов на проведение промывных поливов (Z_s)

Подъем уровня минерализованных грунтовых вод приводит к повышению концентрации солей в верхних слоях почвогрунтов (C_s) и вторичному засолению земель. Предупреждение накопления солей связано с затратами водных ресурсов на проведение ежегодных промывок. Объем затрат водных ресурсов на поддержание мелиоративного состояния земель может быть рассчитан по формуле Волобуева, или принят по нормам промывок установленным для конкретных районов (N_s). Затраты водных ресурсов на проведение промывных поливов могут быть рассчитаны по формуле

$$Z_s = w_s * N_s, \quad (4)$$

где w_s – площадь земель с положительным солевым балансом.

По результатам моделирования выделяют зону с положительным солевым балансом почвогрунтов, для которой и рассчитывают затраты водных ресурсов на промывные поливы.

Значения D_w , D_s , C_d , W_g , C_g , C_s и w_s являются выходными результатами моделирования качества подземных вод.

Выводы

Выгоды орошения земель учитываются по показателям, характеризующим воздействие орошения на урожайность сельскохозяйственных культур и расходование на эти цели водно-земельных ресурсов. Наряду с этим, вторичным следствием развития орошения является постепенное ухудшение качества стока рек и подземных вод и увеличение степени засоления орошаемых земель. Причиной данных негативных процессов является недоучет этих факторов на стадии проектирования и реабилитации ирригационных систем. Заблаговременный учет данных факторов может способствовать улучшению оценки влияния альтернативных подходов к реабилитации ирригационных систем. Предложенная методика оценки непродуктивных затрат водных ресурсов вызванных вторичными эффектами орошения земель требует апробации на примере типичных ирригационных систем Центральной Азии.

ЛИТЕРАТУРА

- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C. and M.G. McDonald. 2002. MODFLOW-2000, The U.S. Geological survey modular groundwater model – user guide to modularization concepts and the groundwater flow process. US Geological Survey. Open-File Report 00-92. http://water.usgs.gov/software/ground_water.html/.
- Икрамов, Р.К. 2009. Дренаж орошаемых земель Узбекистана, Ташкент-САНИИРИ

- Мирзаев С.Ш., Каримов А. 1990. Замкнутые системы орошения. Ташкент – ТИИМСХ.
- Molden, D., 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. Sri Lanka, International Water Management Institute.
- Molden, D. J., Sakthivadivel, R., 1998. Water accounting to assess use and productivity of water. International Journal of Water Resources Development, 15 (1/2), 55-71.
- Oosterbaan, R.J., 1988. Effectiveness and social/environmental impacts of irrigation projects: A critical review, in: ILRI Annual Report, 1988, pp.18-34. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Рубинова Ф.И., 1987. Влияние мелиорации земель на гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря. 158с.
- Waterloo Hydrogeologic Inc., 2000. Visual MODFLOW user's manual. Waterloo Hydrogeologic Inc., Canada.