

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА И ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ С ЦЕЛЬЮ УПРАВЛЕНИЯ ВХС АРАЛЬСКОГО РЕГИОНА¹

Т.Ю. Голубаш, Н.И. Сенцова

Институт водных проблем РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Губкина, д. 3

ВВЕДЕНИЕ

Проблеме управления водными ресурсами в бассейнах рек Аральского региона посвящено большое количество исследований, имеющих как научный, так и практический характер. Такой повышенный интерес возник в результате освоения колоссальных площадей под орошаемое земледелие. Его развитие в течение многих веков и довольно резкое увеличение в 20-м столетии (особенно во второй его половине) привело к непредсказуемым последствиям. Это было вызвано не всегда научно проработанными решениями по освоению отдельных сильно засоленных земельных массивов с плохими условиями естественного дренирования, недостаточно обоснованными оросительными нормами, слабым развитием коллекторно-дренажной сети, осуществлением сброса сильно минерализованных вод в реки и т.п. Интенсивное использование водно-земельных ресурсов в водохозяйственных системах (ВХС) аридной зоны привело к изменению их водно-солевого режима и снижению продуктивности сельскохозяйственных культур. В частности, на орошаемых массивах и сопредельных территориях наблюдается подъем уровня грунтовых вод, вызывающий вторичное засоление почвогрунтов зоны аэрации, заболачивание, значительное увеличение минерализации поверхностных водоисточников (ухудшение их оросительной способности). Особенно значительно это проявляется при освоении верхних участков водосборов, являющихся одновременно областями формирования и использования речного стока и определяющих состояние водных ресурсов в их среднем и нижнем течениях.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНО-ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ АРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Оценивая современное состояние водно-земельных ресурсов, следует отметить, что за последние десятилетия не произошло существенных перемен к лучшему. Критическое состояние Аральского региона привлекло внимание мировой общественности. Однако эта тема стала носить во многом спекулятивный характер. Не останавливаясь подробно на причинах и последствиях развития экологического кризиса в бассейне Аральского моря, отметим не теряющие актуальности и спустя десятилетия следующие моменты. По-прежнему, несмотря на некоторое сокращение занятых под хлопчатник в 1990-е годы орошаемых площадей, монокультурность и высокая водозатратность в сельском хозяйстве остаются негативными экологическими аспектами экономики. Ситуация в регионе осложняется тем, что возобновляемые поверхностные водные ресурсы используются почти полностью, причем в маловодные годы коэффициент изъятия стока больше единицы, водозабор из рек в многоводные годы превышает сток 10%-ной обеспеченности [11]. По данным [5], антропогенные затраты стока в бассейне Арала по-прежнему превышают 90 км³/год (годовой сток Амударьи и Сырдарьи), при этом почти 90% всех затрат приходится на орошаемое земледелие. Однако следует отметить, что

¹ Работа выполнена по проекту «Повышение эффективности управления водными ресурсами в бассейне р. Амударьи для ограничения последствий экологического кризиса в Приаралье», контракт № 516761, университет Ганновер.

высокий рост народонаселения и увеличивающиеся потребности в жизнеобеспечении, а также сложившаяся аграрная направленность экономики региона не позволяют значительно уменьшить масштабы орошаемого земледелия. Главные изменения в водно-солевом стоке рек, произошедшие в 1970-е гг., – сокращение расходов воды и рост ее минерализации в средних и нижних течениях – сохраняют свои параметры и в настоящее время. Особенно существенны они в вершинах дельт, где реки периодически стали пересыхать, а минерализация повысилась в несколько раз и стала достигать 2-3 г/л. Рост минерализации речной воды сопровождался изменением ее ионного состава со значительным увеличением количества токсичных ионов. При этом общая жесткость возросла до 15-25 мг-экв/л, содержание хлоридов – до 450-700 мг/л, сульфатов – 700-1000 мг/л [9]. В минерализации и химическом составе речных вод стали прослеживаться изменения в пространстве и во времени, связанные не столько с влиянием естественных факторов (например, водности года), сколько с антропогенной деятельностью, в особенности с ирригацией [7]. Главной составляющей ирригационного фактора, влияющей на водно-солевой режим рек, стал сток коллекторно-дренажных вод, минерализация которых в некоторых районах достигает 20 г/л, а годовой объем составляет одну четвертую часть всего стока в Аральском регионе. В составе речного стока доля коллекторно-дренажных вод стала доходить в низовьях до 40-60%. Таким образом, коллекторно-дренажный сток стал основным звеном в технологической цепи орошаемого земледелия, которое привело к мобилизации огромных масс солей, накопившихся ранее в ландшафтах, и перераспределению их на огромной территории Аральского бассейна [3, 10]. А водно-солевой режим коллекторно-дренажных вод стал определяющим в формировании такового речных вод.

В связи с вышеизложенным, объективный, реалистический анализ водных ресурсов в бассейне Аральского моря и разработка методики оценки показателей их состояния является важнейшей задачей. Однако изменение геополитической ситуации, связанное с распадом СССР, осложнило решение этих проблем. В частности, произошло сокращение гидрометеорологической сети и опытных станций, ухудшилось качество исходной информации. Чаще всего данные можно получить из отдельных экспедиционных исследований, проводимых по разным программам. Поэтому трудно сделать адекватные выводы. Информация об использовании водно-земельных ресурсов, которая и раньше не отличалась высоким качеством, в настоящее время стала еще более труднодоступной и менее достоверной. Она берется из разрозненных источников, где зачастую вместо фактических данных предоставляются проектные. Кроме того, ее сложно разделить по видам водопользователей и водоисточников. Поэтому возникает неопределенность в оценке изменения состояния водно-земельных ресурсов в связи с возможными изменениями климата и социально-экономического развития региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА И ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Ранее, до распада СССР, нами проводились многолетние комплексные всесторонние научные исследования в Аральском регионе. Результаты этих исследований не потеряли своей актуальности для оценки возможных изменений показателей функционирования ВХС в меняющихся условиях современного периода. В работах [1, 2, 4, 6, 8, 9, 12] авторами осуществлен всесторонний анализ закономерностей формирования водно-солевого режима и продуктивности орошаемых земель в различных природно-климатических и почвенно-мелиоративных условиях при разных антропогенных воздействиях (наличие и состояние оросительных и

коллекторно-дренажных систем, реализация режимов орошения и оросительных норм, применяемая агротехника и т.п.). В результате проведенных исследований установлены взаимосвязи элементов водно-солевого баланса, а также показателей продуктивности с управляемыми (антропогенными) и неуправляемыми (природными) факторами внешней среды. С использованием как оригинальных, так и известных эмпирических и полуэмпирических зависимостей разработана имитационная модель формирования водно-солевого баланса и продуктивности орошаемых земель.

Модель имеет разветвленную блочную структуру: приземный слой атмосферы, растительный покров, зона аэрации, поверхностные и грунтовые воды. Состояние каждого из этих блоков на определенный момент времени характеризуется балансами воды, тепла и вещества, и они описываются соответствующими балансовыми уравнениями [4, 8]. Вертикальные взаимосвязи между блоками происходят за счет нисходящих и восходящих потоков. Главными процессами здесь являются суммарное испарение, инфильтрация и капиллярное подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами. Горизонтальными границами служат поверхностный покров почвы, нижняя граница корнеобитаемого слоя и уровень грунтовых вод. Составляющие солевого баланса определяются с помощью полученных значений элементов водного баланса. На рассмотренные выше процессы водообмена накладываются процессы разбавления и соответствующего переноса солей водными потоками. Продуктивность орошаемых земель оценивается с помощью упрощенной динамической модели формирования урожая (биомассы) сельскохозяйственных культур, адаптированной для ведущей культуры – хлопчатника. При этом учитывается влияние на формирование урожая погодных условий, влажности корнеобитаемого слоя почвы, возрастного изменения прироста биомассы, доз вносимых удобрений и характера и степени засоленности почвогрунтов. В связи с тем, что большинство натуральных наблюдений и соответствующая исходная информация носят дискретный характер, модель объекта строится на основе конечно-разностных уравнений (модель с сосредоточенными параметрами), а состояние объекта моделирования описывается с помощью конечного набора показателей, а не их непрерывным распределением в пространстве и времени. Этим достигается упрощение модели. Для учета пространственной структуры объекта область распределения его состояния разбивается на отдельные участки. На каждом участке состояние объекта учитывается осредненными показателями. Непрерывность состояния во времени осуществляется осреднением состояний за расчетный отрезок времени, а его изменение определяется заданием начального состояния, управляющих воздействий и возмущений на каждом таком отрезке времени. В качестве расчетного интервала времени для оценки показателей водного и солевого балансов принят месяц, а для оценки продуктивности - декада.

Идентификация параметров модели и ее верификация была осуществлена с использованием данных опытных станций и гидрометеорологических наблюдений для орошаемых участков хлопковой зоны бассейна р. Сырдарьи, различающихся природно-климатическими и почвенно-мелиоративными условиями. В качестве основной водохозяйственной системы при исследовании изменения показателей водно-солевого режима рассмотрена Ферганская долина, которая является областью формирования и использования речного стока и определяет состояние водных ресурсов р. Сырдарьи в среднем и нижнем течении.

В результате проведенных исследований получены оценки возможных изменений показателей водно-солевого режима, таких как уровень залегания грунтовых вод и их минерализация, запасы влаги и солей в зоне аэрации, сток и минерализация водоисточников, при варьировании параметров гидромелиоративных систем [6, 12]. В частности, анализ выявленных количественных взаимосвязей показал, что при повышении эффективности коллекторно-дренажных систем (увеличении их протяженности, глубины заложения дренажа и пр.) происходит понижение уровня грунтовых вод и увеличение дренажного стока, за счет которого увеличивается и речной сток. Влагозапасы в зоне аэрации при этом несколько уменьшаются, и возрастает концентрация порового раствора. Изменения солесодержания почвогрунтов в целом незначительные. По-видимому, имеет место тенденция к стабилизации солевого режима во времени на территории Ферганской долины, если будут сохраняться существующие природно-хозяйственные условия. Повышение КПД оросительных систем вызывает понижение уровня грунтовых вод и влагозапасов зоны аэрации. Уменьшение притока высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод в русло реки и затрат свежей воды на орошение приводят к значительному улучшению речной воды в р. Сырдарье на выходе из Ферганской долины. Увеличение норм орошения в 1,5 раза приводит к значительному повышению уровня грунтовых вод, росту дренажного и речного стоков. Минерализация же речной воды уменьшается. Однако при дальнейшем повышении оросительных норм происходит резкое повышение минерализации в реке. Видимо, это связано с тем, что все возрастающий приток концентрированных дренажных вод начинает занимать значительную долю в русловом стоке, а их минерализация начинает уменьшаться все в меньшей степени.

Исследования влияния водного режима и пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических и почвенно-мелиоративных условий на формирование урожая хлопчатника показали, что снижение урожая происходит быстрее, чем снижение расхода воды на транспирацию, а, следовательно, и на суммарное испарение [1]. При этом наименьший расход воды на единицу продукции соответствует оптимальной оросительной норме, ориентированной на получение максимального урожая. Анализ влияния погодных условий вегетации, уровня агротехники и засоленности почвогрунтов на продуктивность показал, что наиболее резкое снижение урожая наблюдается на подверженных хлоридно-сульфатному засолению полугидроморфных почвах Голодной Степи. Даже при сравнительно небольшом снижении уровня предполивной влажности (на 5%) урожай снижается почти вдвое быстрее расхода воды на суммарное испарение. На незасоленных тяжелосуглинистых почвах с автоморфным и полуавтоморфным типом грунтового увлажнения (ЧАКИР и Ферганская долина) при снижении уровня предполивной влажности на 10% по сравнению с оптимальной урожай снижается в среднем на 20%, в то время как суммарное водопотребление хлопчатника уменьшается всего на 10% и 13% соответственно, а при понижении предполивной влажности на 15% урожай уменьшается более, чем на треть (33-35%), при этом суммарное водопотребление уменьшается на 14-20%. Таким образом, исследование влияния водного фактора на продуктивность орошаемых земель показывает нецелесообразность снижения главной составляющей удельного водопотребления - суммарного испарения сельскохозяйственных культур. Экономия водных ресурсов должна осуществляться за счет сокращения непродуктивных затрат оросительной воды, связанных с потерями на фильтрацию из оросительной сети, вертикальными сбросами и т.п.

Полученные в процессе машинных экспериментов результаты подтверждаются фактическими изменениями в ходе показателей водно-солевого баланса и продуктивности орошаемых земель при разных антропогенных нагрузках. В связи с этим разработанная методика может быть применима для оценки состояния водно-земельных ресурсов Аральского региона в современных условиях и может служить основой при управлении ВХС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, следует отметить, что современное гидроэкологическое состояние бассейна Аральского моря остается критическим. Для управления гидроэкологическим состоянием бассейна Арала необходимы комплексные меры, направленные на повышение эффективности оросительных и коллекторно-дренажных систем, упорядочение поливных и промывных норм, контроль за внесением удобрений и применением ядохимикатов, налаживание работы очистных сооружений и др. Основой для таких мероприятий должны служить научно проработанные нормативы, полученные в результате оценки возможных последствий под влиянием конкретных антропогенных воздействий. К сожалению, распад СССР вызвал прекращение работы в Средней Азии многих научных коллективов, а гидрологическая и гидрохимическая информация стала труднодоступной.

Предлагаемые авторами подходы, обладая достаточной простотой и отражающие реальные условия формирования водно-солевого режима и продуктивности орошаемых земель и использующие, главным образом, стандартную информацию, не теряют актуальности и в настоящее время и могут послужить основой планирования водохозяйственных мероприятий в регионе. Разработанная модель позволяет дать оценку возможных изменений водно-солевого режима и продуктивности орошаемых земель при различных условиях хозяйствования и оценить реакцию системы на внешние воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаговский А.И., Голубаш Т.Ю. Влияние водного фактора на продукционный процесс растительного покрова. //Водные ресурсы, 1994. Т. 21, № 2. С. 133-143.
2. Воропаев Г.В., Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Проблемы управления водными ресурсами Арало-Каспийского региона. М.: Наука, 2003. 427 с.
3. Глазовский Н.Ф. Современное соленакопление в аридных областях. М.: Наука, 1987. 192 с.
4. Голубаш Т.Ю., Исмаилов Г.Х., Лазарева Е.В. Мелиоративный блок в водохозяйственных моделях аридной зоны. //Водные ресурсы, 1989. №5. С. 144-155.
5. Духовный В.А., Умаров П.Д. Водосбережение – главный фактор стабилизации развития региона бассейна Аральского моря // Мелиорация и водное хозяйство, 1999. №4. С.9-12.
6. Исмаилов Г.Х., Сенцова Н.И. Моделирование формирования водно-солевого режима территории (на примере бассейна Аральского моря) // Водные ресурсы, 1996. Т. 23, №5. С.616-627.
7. Насрулин А.Б. Опыт гидроэкологического мониторинга бассейна Аральского моря в целях обеспечения экологической безопасности // Водные ресурсы, 2000.

- Т.27, №1. С.109-113.
8. Сенцова Н.И. Модель перспективной оценки водно-солевого баланса орошаемой территории // Водные ресурсы, 1994. Т. 21, №3. С.261-270.
 9. Сенцова Н.И., Шапоренко С.И. Геосток аридных районов Средней Азии // Известия РАН, Серия геогр., 2002. №2. С.42-52.
 10. Файбишенко Б.А. Водно-солевой режим грунтов при орошении. М.: Агропромиздат, 1986. 302 с.
 11. Чуб В.Е. Водные ресурсы Центральноазиатских стран: развитие, проблемы, мониторинг. Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, секция 3, С-Пб: Гидрометеиздат, 2004. С. 19-21.
 12. Ismaiyllov G.Kh., Sentsova N.I. Anthropogenic effects on the regime and quality of natural waters in irrigated regions // Environmental and socio-economic consequences of water resources development and management: Proceedings of the Moscow Symposium (15-20 May 1995). – UNESCO. Paris, 1996. P.65-68.