

Проблемы бассейна Аральского моря и пути их решения.

Панкова Е.И

Айдаров И.П

Краткая аннотация

В статье рассмотрены возможные пути решения экологических, социальных и экономических проблем бассейна Аральского моря. Приведены эмпирические зависимости, позволяющие подойти к обоснованию состава, объема и очередности реализации комплекса мероприятий по выводу стран бассейна Аральского моря из кризиса. Показана реальная возможность улучшения экологических, социальных и экономических условий до уровня, обеспечивающего устойчивое развитие стран бассейна.

В своих работах 2006-2009 годов мы рассмотрели историю развития орошения в странах Центральной Азии и проанализировали основные причины интенсивного развития процессов опустынивания, включая ухудшение региональных почвенных, биологических, гидрогеологических, гидрологических и геохимических условий в бассейне Аральского моря.

Основной целью широкого развития орошения земель в бассейне Аральского моря в XX веке вплоть до распада СССР было создание собственной базы хлопка-сырца и избавление текстильной промышленности от его импорта. Решение проблемы хлопковой независимости было достигнуто самой высокой ценой за всю многовековую историю развития орошаемых земель в бассейне Аральского моря. Увеличение производства хлопка было обеспечено за счет коллективизации и обобществления земельных ресурсов, что полностью исключило из хозяйственного механизма человека – хозяина с его личной заинтересованностью. Труд стал, по существу, подневольным и это привело к самым тяжелым последствиям [2, 8]. Практически было разрушено веками отработанное отношение человека к природе и утерян многовековой опыт орошения. Эффективность использования земельных и водных ресурсов резко снизилась. Низкий технический уровень оросительных систем, строительство дренажа и создание замкнутого водооборота и солеоборота (отвод минерализованных дренажных вод обратно в источники орошения и повторное их использование для полива) привели к нарушению состояния и функционирования всей природной системы бассейна Аральского моря.

Поначалу, в соответствии с принятой концепцией развития орошения и официальными нормативными документами, утверждалось, что водные ресурсы бассейна Аральского моря используются очень эффективно. Эффективность использования водных ресурсов оценивалась как [1]:

$$\text{КИБ} = \frac{Q_2}{Q_2 - B} \quad (1)$$

где: КИВ – коэффициент полезного использования водных ресурсов, в долях от единицы; O_1 и O_2 – оросительные нормы нетто и брутто, $m^3/га$; B – объем возвратных вод в виде дренажного стока, поступающего в реки и повторно используемого для полива, $m^3/га$. Из выражения (1) следовало, что чем больше замкнут водооборот, тем лучше.

Последствия такой стратегии использования водных ресурсов сказались достаточно быстро; уже к 1985-95 годам водные ресурсы основных речных систем бассейна Аральского моря оказались недопустимо загрязненными и практически исчерпанными. Но это было только начало целого ряда негативных последствий, приведших к развитию экологического и социально-экономического кризисов в бассейне Аральского моря. Замкнутый водо- и солеоборот на орошаемых землях привел к увеличению минерализации речных вод и к повсеместному и прогрессирующему развитию засоления, снижению плодородия и продуктивности орошаемых почв. Уменьшение притока к Аральскому морю и снижение его уровня (изменение базиса эрозии) вызвали резкое усиление русловых процессов в среднем и, особенно, нижнем течении рек Сырдарьи и Амударьи. Реки из источников питания подземных вод превратились в естественные дренажи, что нарушило исторически сложившиеся гидрологические, гидрогеологические и геохимические условия речных долин, прилегающих территорий и обернулось их опустыниванием и деградацией экосистем тугайных лесов.

Обсыхание Аральского моря, помимо гибели богатейших водных и околоводных экосистем, привело к образованию огромной соляной пустыни и изменению климата Приаралья. Из регулятора геохимических потоков Аральское море превратилось в источник засоления и опустынивания прилегающих земель.

Интенсивное развитие орошаемого земледелия и животноводства способствовали развитию процессов опустынивания, которые охватили не только речные долины и Приаралье, но практически весь бассейн Аральского моря.

Аральское море в прошлом неоднократно меняло свои размеры в результате периодического изменения русла Амударьи. Однако современный кризис принципиально отличается. Дело в том, что, во-первых, несмотря на отклонение русла Амударьи, в море всегда поступал сток Сырдарьи в объеме $37-40 км^3/год$, и во-вторых – отклонение русла Амударьи никак не сказывалось на состоянии экосистем речных долин и прилегающих территорий. Таким образом, эти изменения практически не отражались на состоянии водных и околоводных экосистем, являющихся экологическим каркасом и основой устойчивости природной среды бассейна Аральского моря. Современный кризис, в отличие от прошлых, привел к полному уничтожению экосистем речных долин, Аральского моря и прилегающих территорий, т.е. к разрушению экологического каркаса со всеми вытекающими отсюда последствиями для населения и экономики стран Центральной Азии.

Бассейн Аральского моря как региональная природная система представляет собой с одной стороны природный объект, включающий совокупность экосистем, с другой – природный ресурс, т.е. ряд взаимодействующих и взаимообусловленных компонентов (атмосфера, биота, почва, водные ресурсы), которые используются человеком. Бассейн

Аральского моря как природный объект осуществляет функции регулирования состояния природной системы в целом и предоставляет человеку экосистемные услуги, которые включают [57]:

- регулирование климата и качества атмосферного воздуха;
- регулирование режима и качества водных ресурсов;
- регулирование биоразнообразия;
- продуцирование биомассы;
- регулирование процессов почвообразования;
- регулирование благосостояние человека.

Бассейн Аральского моря как природный ресурс предоставляет человеку материальные услуги и блага – продовольствие, сырье, топливо, генетические ресурсы дикой природы, чистую воду, воздух и др.

Следовательно, материальные блага и здоровье человека непосредственно определяются экосистемными функциями и услугами и состоянием природных экосистем. Поэтому необходимо рассмотреть вопрос – какие механизмы определяют состояние природных экосистем, и в какой степени изменение экосистем воздействует на благосостояние человека? Основным механизмом, определяющим состояние экосистем, является биогеохимический круговорот, включающий биогеохимические потоки в системе: атмосфера – суша - гидрографическая сеть – речные долины – Аральское море.

Качество атмосферного воздуха регулируется синоптическими процессами. Охлаждение материка Евразии в холодное время года сопровождается образованием обширного по площади антициклона. Направление воздушных потоков на территории бассейна в этот период преимущественно восточное и северо-восточное, в связи с чем, устанавливается безоблачная тихая погода. В летний период основную роль в формировании воздушных потоков играет термическая депрессия, способствующая вовлечению северных воздушных масс. Указанные глобальные синоптические процессы достаточно устойчивы и в природных условиях исключают трансграничный перенос веществ и загрязнение воздуха. Развитие промышленности и сельского хозяйства в бассейне привело к возникновению внутренних источников загрязнения. Ежегодный объем техногенных выбросов загрязняющих веществ составляет в пределах бассейна 7,5 млн. т/год, из которых 43,8 % приходится на Казахстан, 28,7 % - на Узбекистан, 22,9 % - на Туркменистан и 4,6 % - на Киргизстан и Таджикистан. Состояние воздуха в населенных пунктах и прилегающих территориях характеризуется высокой степенью загрязнения. Основными источниками загрязнения воздуха являются объекты энергетики, горнодобывающей и металлургической промышленности и автотранспорт [7].

В Приаралье основной причиной изменения качества атмосферного воздуха на площади 15-20 млн. га стало обсыхание Аральского моря, развитие пыльных бурь и усиление процессов аэрального переноса солей. Уменьшение площади акватории моря вызвало снижение суммы активных температур на 400-500 °С, увеличение

континентальности и аридности климата и резкое ухудшение условий жизнедеятельности населения. Повторяемость погоды, пригодной для безопасного пребывания человека на открытом воздухе, сократилась почти в 2 раза. Кроме того, ежегодно в атмосферу поднимается и переносится от 15 до 75 млн. т пыли, содержащей большое количество солей. Сильные пыльные бури наблюдаются до 90 дней в году [2, 5, 6].

Основными факторами регулирования качества поверхностных и подземных вод в бассейне в природных условиях являются орографическое строение региона и особенности гидрологического режима основных рек. Орографически бассейн Аральского моря подразделяется на две части: горные массивы и Туранскую равнину. Горная часть является зоной формирования региональных водных и геохимических потоков. Здесь берут начало реки Сырдарья и Амударья и потоки подземных вод. Туранская же бессточная равнина, речные долины, дельты рек и Аральское море являются зоной разгрузки и аккумуляции региональных потоков поверхностных, подземных вод и наносов. В соответствии с особенностями формирования и рассеивания речного стока, минерализация речных вод возрастала с 0,1-0,3 до 0,5 г/л только от истоков рек до выхода их на равнину. В среднем и нижнем течении рек минерализация речных вод оставалась постоянной [2, 8]. Минерализация подземных вод (в отличие от речных) возрастала по направлению к зонам разгрузки.

Широкое развитие орошения земель изменило гидрографические и гидрогеологические условия, реки из источников питания подземных вод превратились в естественные дрены и стали использоваться как водоприемники дренажных и сточных вод.

В природных условиях пресные речные воды, за исключением объема рассеиваемого стока, непосредственно поступали в дельты рек и Аральское море. В современных условиях речной сток полностью разбирается на орошение. Из общего водозабора примерно 80 % сначала теряется на фильтрацию из каналов оросительной сети и промывной режим на полях, а затем вновь используется для полива уже в виде минерализованных дренажных вод. Эта концепция водохозяйственной политики оправдывалась эффективностью повторного использования дренажных вод (см. выражение 1). Все это стало причиной образования устойчивой обратной положительной связи: увеличение минерализации речных вод – необходимость усиления промывного режима и дренажа – дальнейшее ухудшение качества и истощение водных ресурсов - снижение уровня Аральского моря [2]. Таблица 1.

Таблица 1

Динамика водохозяйственных условий в бассейне Аральского моря

Годы						
1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
Объем дренажных и сбросных вод, км ³						
0	1	2	11	48	60	65
Минерализация речных вод, г/л						
0,3-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,9	0,9-1,1	1,1-1,4	1,4-1,8
Оросительные нормы брутто, тыс. м ³ /га						

16	13	17	23	25	24	23
Удельная протяженность дренажной сети, пог. м/га						
0	2	4	10	25	31	31
Сток воды в Аральское море, км ³						
60	58	55	50	42	25	10
Снижение уровня Аральского моря, м						
0	0	0	0	2	7,5	22,5

Из общего объема дренажных вод в бассейне Амударьи 35 % поступает обратно в реку и используется для орошения ниже по течению, 5 % повторно используются для полива в пределах оросительных систем и 60 % отводится в замкнутые понижения. По бассейну Сырдарьи эти цифры составляют 60, 20 и 20 % соответственно. Из 175 млн. т солей, выносимых дренажными водами в реки, до 50 и более % мобилизуется из глубинных горизонтов. [2, 3, 9].

Помимо дренажных вод в реки поступает более трех км³ неочищенных, или недостаточно очищенных, промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, содержащих большое количество загрязняющих веществ, концентрация которых в 2-16 раз превышает ПДК.

Подземные воды, за исключением напорных вод верхнемеловых отложений, имеют минерализацию 1-5 г/л и содержат большое количество железа, марганца, хлоридов и других веществ [7]. Обеспеченность городского и сельского населения системами централизованного водоснабжения и водоотведения составляет: для городского – 75-95 %, для сельского меньше 30-50 % [7, 15].

При оценке процессов почвообразования в аридных условиях целесообразно рассматривать только основные факторы – климат, гидрогеологические условия, подстилающие породы и биологическую продуктивность растительности.

Для оценки роли климата в формировании почв наиболее подходящим является показатель гидротермического режима, отражающий соотношение тепла и влаги в природных условиях [2, 5, 8, 17, 46].

$$\bar{R} = \frac{R}{L O_c} \quad \text{для автоморфных условий} \quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{R}{L(O_c + E_r)} \quad \text{для гидроморфных условий} \quad (3)$$

где: \bar{R} - показатель гидротермического режима; R – радиационный баланс, кДж/см² в год; O_c – сумма атмосферных осадков, см; E_r – испарение с поверхности грунтовых вод, см; L – скрытая теплота парообразования, кДж/см³ в год.

Выбор этого показателя обусловлен тем, что он определяет баланс поверхностных и почвенных вод и условия почвообразования. В природных условиях основными статьями баланса поверхностных и почвенных вод являются испарение (E) и влагообмен

между почвенными и грунтовыми водами (g). Поверхностный сток при $\bar{R} > 2$ отсутствует [5].

Величины водообмена между почвенными и грунтовыми водами, а также испарения определяются в зависимости от \bar{R} [46, 49]:

$$g_a = \exp(-\bar{R}) \quad (4)$$

$$g_r = g_a - \bar{R}(1 - \bar{\Delta})^{1,5} \quad (5)$$

$$E = 1 - g \quad (6)$$

где: g_a и g_r – влагообмен в автоморфных и гидроморфных условиях, доли от суммы осадков; E – испарение, доли от суммы осадков; $\bar{\Delta} = \Delta/\Delta_0$; Δ – глубина залегания грунтовых вод, м; Δ_0 – глубина грунтовых вод, при которых испарение с их поверхности равно 0, м.

Основными показателями гидрогеологических условий являются глубина залегания и минерализация грунтовых вод, м, г/л, показателями подстилающих пород – содержание солей, а показателями почв – плодородие (баллы) и продуктивность (т/га).

Анализ имеющихся данных показывает, что засоление аридных почв в природных условиях наблюдается при следующих условиях [46]:

$$g \leq \frac{1}{2} \ln \frac{c_2}{c_1} \quad (7)$$

где: C_1 – допустимая минерализация почвенного раствора, г/л; C_2 – минерализация грунтовых вод (в гидроморфных условиях) или минерализация почвенного раствора на глубине сезонного промачивания почв (в автоморфных условиях), г/л.

Обобщение натуральных и теоретических данных показывает, что при $\bar{R} \leq 3$ и $C_2 \leq 4$ г/л формируются незасоленные, или глубоко засоленные почвы [2, 8, 16, 17, 46, 50].

Зависимость плодородия и продуктивности почв в природных условиях от величины \bar{R} свидетельствует о том, что наиболее плодородные и продуктивные почвы формируются при значениях $0,8 \leq \bar{R} \leq 1,1$ и отсутствии засоления. Изменение гидротермического режима \bar{R} в ту или иную сторону сопровождается снижением плодородия и продуктивности почв.[2, 5, 17, 20, 48].

Орошение земель и перевыпас пастбищ коренным образом нарушили природные условия почвообразования. Последствия этих нарушений привели к деградации почв. Создание гидроморфного режима и использование минерализованных дренажных вод для полива потребовали создания промывного режима орошения, интенсивность которого ≥ 40 % от величины оросительной нормы. Такой режим орошения неизбежно приводил к

переувлажнению почв и снижению их плодородия и продуктивности. С другой стороны, уменьшение промывного режима сопровождалось засолением почв. Таким образом, нарушение природных процессов почвообразования привело к тому, что снижение плодородия и продуктивности почв стало неизбежным. В существующих условиях, при оросительной норме нетто 13-14 тыс. м³/га и сумме атмосферных осадков вегетационного периода 100 мм, величина $\bar{R} = 0,67-0,71$, а продуктивность почв – 0,65-0,7 от потенциальной (при засолении почв продуктивность снижается еще на 15-75 %, в зависимости от содержания солей) [2, 5, 11, 17, 22, 38, 46, 48].

В настоящее время более 50 % богарных и орошаемых земель и пастбищ подвержены эрозии, дефляции и засолению [2, 3, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 23].

Концепция широкого развития орошения в бассейне предусматривала трансформацию автоморфного режима в гидроморфный с подъемом грунтовых вод до глубины 2-2,5 м и поддержание их на этой глубине при помощи дренажа. После 1991 г состояние водохозяйственного комплекса в бассейне резко ухудшилось. Состояние существующей оросительной сети на 70 % площади в настоящее время характеризуется как неудовлетворительное. Более 70 % оросительных каналов не имеют противодиффузионных облицовок, КПД системы каналов в среднем по бассейну не превышает 0,4-0,5 [2, 3, 8, 17]. Интенсивность существующего дренажа не достаточна; дренажем обеспечено всего около 60 % всех орошаемых земель, причем более 50 % существующего дренажа находится в нерабочем состоянии. На значительной площади орошаемых земель (более 30 %) уровни грунтовых вод залегают на глубине менее 2 м [2, 3, 8]. Площади засоленных земель увеличились с 40 % в 2000 г до 51 % в 2006г.

Экономический ущерб по бассейну Аральского моря от деградации орошаемых и богарных земель и естественных пастбищ оценивается примерно в 8 млрд. \$ в год (примерно 16 % от ВВП) [3]. Экологический ущерб, связанный с разрушением природных экосистем, не оценивался.

Одной из важнейших экосистемных услуг является биоразнообразие, обеспечивающее функционирование природных экосистем. Увеличение (сохранение) биоразнообразия обеспечивает устойчивость экосистем, в то время, как его снижение упрощает структуру экосистем и способствует их разрушению. По данным [29] биоразнообразие растительности сократилось в разных экосистемах на 10-30 %, а биоразнообразие животного мира – на 25-50 %. Биоразнообразие растительности на пастбищах зависит от степени дигрессии: при слабой дигрессии оно снижается на 5-10 %; при умеренной – на 20-25; при сильной – на 50-90 % [47, 48, 49]. Снижение биоразнообразия опасно тем, что наряду со снижением продуктивности меняются флора и фауна - крупных копытных и хищных животных сменяют мелкие грызуны и растительноядные насекомые, что создает реальную угрозу здоровью населения.

Используя осредненные данные по структуре земельного фонда бассейна и экологической значимости отдельных видов угодий, оценим изменение устойчивости экосистем по данным 1900 и 2006 годов [2, 3, 7, 8, 13, 14, 29, 32].

$$K_c = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^n f_i k_1 k_2 \quad (8)$$

где: K_c – коэффициент устойчивости экосистем, в долях от единицы; w – общая площадь территории бассейна, $w = 100\%$; f_i – площади отдельных биотических элементов, %; k_1 – коэффициент относительной экологической значимости биотических элементов; k_2 – коэффициент геолого-морфологической устойчивости рельефа; n – число биотических элементов.

В расчетах учитывались изменения площадей и значений коэффициентов относительной экологической значимости отдельных биотических элементов [19, 32]. Выполненные расчеты показали, что устойчивость экосистем бассейна снизилась с 0,68 (стабильное состояние) в 1900 г до 0,32 (нестабильное состояние) в 2006 г. Нестабильность экосистем бассейна означает, что при сохранении существующих условий использования водных, земельных и биологических ресурсов любые флуктуации природных и антропогенных факторов будут сопровождаться дальнейшим разрушением экосистем. Это обстоятельство имеет особое значение, поскольку поддержание устойчивости экосистем является необходимым условием выживания человека.

Изменение качества экосистемных услуг и последовавшее за этим ухудшение природной среды послужило основной причиной снижения благосостояния населения. Возросла заболеваемость, снизилась средняя продолжительность жизни. Обобщающим показателем благосостояния населения, в соответствии с рекомендациями ООН, является «индекс человеческого развития» (ИЧР), который учитывает три основных фактора [4]:

- индекс ожидаемой продолжительности жизни при рождении;
- индекс образования как возможность доступа к знаниям, измеряемый по уровню грамотности взрослого населения;
- индекс дохода или уровня жизни, измеряемый величиной ВВП на душу населения.

Обобщение данных по ИЧР в странах бассейна Аральского моря показывает, что благосостояние населения, несмотря на достаточно высокие темпы прироста ВВП, снижается [4]. Таблица 2.

Таблица 2

Динамика индекса человеческого развития и прироста ВВП по странам бассейна Аральского моря

Годы	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<i>Казахстан</i>						
<i>Δ ВВП, %</i>	-	9,8	8,9	8,6	9,5	9,7
<i>ИЧР</i>	-	-	-	0,78	0,775	0,761
<i>Киргизстан</i>						
<i>Δ ВВП, %</i>	-	3,9	7	7,1	-	7,3
<i>ИЧР</i>	-	-	-	0,7	0,702	0,695
<i>Таджикистан</i>						

<i>Δ ВВП, %</i>	-	10,8	11	10,6	6,7	7
<i>ИЧР</i>	-	-	-	0,685	0,652	0,650
<i>Туркменистан</i>						
<i>Δ ВВП, %</i>	-	15	13	12	11,2	10,1
<i>ИЧР</i>	-	-	-	0,759	0,735	0,713
<i>Узбекистан</i>						
<i>Δ ВВП, %</i>	-	4	4,2	7,4	7	7,3
<i>ИЧР</i>	0,741	0,740	0,724	0,710	0,707	0,695
<i>В целом по бассейну</i>						
<i>Δ ВВП, %</i>	-	8,7	8,8	9,1	8,5	8,3
<i>ИЧР</i>	0,741	0,740	0,724	0,727	0,714	0,704

Согласно Всемирному Докладу по программе развития ООН (ПРООН) в 2006 г по ИЧР Казахстан занимал 79 место, Киргизстан – 120, Таджикистан – 122, Туркменистан – 106, Узбекистан – 117 место среди 177 государств мира [4, 25, 26, 53]. Такая ситуация сложилась в результате того, что прирост ВВП связан не с ростом промышленного и сельскохозяйственного производства, а с крайне нерациональным, истощительным использованием природных ресурсов.

Обретение государствами Центральной Азии независимости не только обострили экологическую и социально-экономическую ситуацию, но и привели к возникновению сложных политических проблем. До 1991 г территория Центральной Азии была в составе единого союзного государства. Земля, ее недра, воды, растительность и животный мир являлись неотъемлемым достоянием народов СССР, а экономика союзного государства составляла единый народнохозяйственный комплекс, охватывающий все звенья общественного производства, распределения и обмена на территории всей страны [Конституция СССР, ст. 10, 16,70,75].

После 1991 г на территории Центральной Азии возникли 5 независимых государств, объявивших все природные ресурсы своей неотъемлемой собственностью, которыми они могли распоряжаться по своему усмотрению. Это коснулось, прежде всего, водных ресурсов. Основной объем речного стока бассейна Аральского моря (больше 85 %) формируется в Киргизстане и Таджикистане [10]. Таблица 3.

Таблица 3

Распределение речного стока между государствами в бассейне Аральского моря

Государство	Речной сток, км ³		Всего по бассейну	
	Амударья	Сырдарья	Км ³	%
Казахстан	-	4,5	4,5	4,1
Киргизстан	1,9	27,4	29,3	26,8
Таджикистан	62,9	1,1	64,0	58,5
Туркменистан	2,8	-	2,8	2,6
Узбекистан	4,7	4,1	8,8	8,0
Всего	72,3	37,1	109,4	100,0

Система водохранилищ, каналов и система управления водными ресурсами в свое время были созданы как единый водохозяйственный комплекс, обеспечивающий регулирование и распределение воды с учетом требований всех водопотребителей в бассейне Аральского моря. Крупные водохранилища в верховьях рек Сырдарьи и Амударьи работали в ирригационном режиме, т.е. накапливали воду в зимний период и сбрасывали ее летом для орошения земель. После 1991 г единый водохозяйственный комплекс был практически разрушен. Режим работы крупных водохранилищ в верховьях рек в Киргизстане и Таджикистане был изменен с ирригационного на энергетический. Это привело к увеличению зимних и сокращению летних попусков более чем в 2 раза, что поставило остальные страны в очень тяжелое положение [28].

Здесь не лишнее будет напомнить, что до начала XX века на территории Центральной Азии действовало и неукоснительно выполнялось «Водное право», которое включало следующие статьи [34]:

- вода не может быть собственностью кого бы то ни было, за исключением воды, собранной в тот или иной сосуд, приготовленный средствами данного лица;
- кто желает пользоваться водой для орошения, тот должен непременно участвовать во всех работах по проведению воды и поддержанию системы в порядке;
- при недостатке воды, воду должны, прежде всего, получать владельцы земли, кои сидят ниже по течению, а затем те, кои сидят выше;
- всякая кража воды, путем ли отвода ее не в очередь, или в большем количестве, чем это следует, считается преступлением и карается.

Приведенные выше материалы показали, что нарушение природных экосистем снизило не только экологическую устойчивость и стабильность сельскохозяйственного производства, но и поставило под угрозу само существование человека в регионе.

Современная концепция взаимодействий человека и природы основывается на идеях устойчивого развития, которые объединяют три основных проблемы – экологическую, социальную и экономическую. Экологические и социальные проблемы не случайно считаются приоритетными, поскольку именно они ограничивают экономическое развитие стран и благосостояние населения. Роль экологических и социальных факторов заключается не только в том, что нарушение экосистемных услуг влечет за собой загрязнение и истощение природных ресурсов и, как следствие, снижение благосостояния населения. Эти проблемы, в принципе, можно было бы решить за счет стабилизации промышленного производства, внедрения «безотходных» и ресурсосберегающих технологий, снижения темпов потребления возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов и других мероприятий. Проблема в другом – функционирование открытой неравновесной системы «природа – человек» подчиняется второму началу термодинамики и в ней действуют биологические механизмы, регулирующие как состояние природной среды, так и жизнедеятельности человека [35, 36]. Действие этих механизмов известно как принцип Ле-Шателье – Брауна, описывающий общесистемную закономерность, согласно которой любое изменение состояния системы, вызванное как внешними, так и внутренними причинами, порождает в системе процессы, направленные

на компенсацию этого изменения. Однако необходимо иметь в виду, что существуют пороговые величины антропогенной нагрузки на природную среду, выше которых действие принципа Ле-Шателье – Брауна нарушается. При превышении пороговых значений нагрузки изменение природных экосистем происходит уже независимо от того, продолжается увеличение нагрузки на среду, или она стабилизировалась. В этом случае наступает фаза самопроизвольного разрушения природных экосистем [37].

Попытки применения традиционных методов моделирования в экологии и экономике пока не увенчались успехом. Все трудности моделирования имеют одну общую причину – невозможность использования существующих моделей для описания динамики сложных неравновесных природных систем. Вместе с тем, отсутствие моделей, основанных на представлениях неравновесной термодинамики, не может служить причиной отказа от попытки решения экологических и социальных проблем. Возможной альтернативой редукционизму является системный анализ, который позволяет обобщить данные многочисленных исследований состояния природных систем и человека. Это дает возможность получить эмпирические зависимости между явлениями и не только составить адекватное формальное описание поведения природных экосистем, но и в первом приближении учесть необратимый характер природных процессов. Для этого необходимо установить связь между площадями разрушенных и трансформированных экосистем и интенсивностью антропогенного воздействия на природную среду. В качестве показателя интенсивности воздействия на природную среду можно использовать степень нарушенности структуры природных ландшафтов. Этот показатель был использован Одумом для оценки суммарного эколого-социально-экономического эффекта при различных соотношениях преобразованных и естественных угодий [39].

$$\bar{W} = \frac{w_1}{w_0} \quad (9)$$

где: \bar{W} - коэффициент, характеризующий степень нарушенности структуры природных ландшафтов, %; w_1 – площади нарушенных земель (низко продуктивные орошаемые и богарные земли, речные долины, осушенные акватории Аральского моря и прилегающие к нему территории, интенсивно используемые пастбища, населенные пункты, промзоны и др.), %; w_0 – общая площадь бассейна Аральского моря, $w_0 = 100$ %.

При оценке площадей разрушенных и трансформированных экосистем (Θ_k) учитывались площади средне и сильно засоленных орошаемых земель, деградированных пастбищ, осушенного дна Аральского моря, речных долин и тугаев. Осредненные значения \bar{W} и Θ_k для бассейна Аральского моря вычислены на основании обобщения многочисленных литературных данных за период с 1900 по 2009 годы [2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 23, 26, 29, 30, 35, 36, 38 и др.]. Обработка полученных данных позволила получить зависимость между \bar{W} и Θ_k в виде:

$$\Theta_k = 0,1\bar{W} + 0,07\bar{W}^2 \quad (\text{при } \bar{W} \leq 0,21) \quad (10)$$

Таблица 4

Расчетные и фактические значения Θ_k

Годы	\bar{W} , %	Значения \mathcal{E}_k , %		ИЧР
		Фактические	Расчетные	
1900	3,0	0,1	0,9	-
1910	4,6	0,3	2,0	-
1920	2,3	0,2	0,6	-
1930	4,0	0,8	1,5	-
1940	5,0	1,8	2,3	-
1950	5,7	2,1	2,9	-
1960	6,4	4,8	3,5	-
1970	9,2	9,7	6,8	-
1980	12,3	14,5	11,8	0,830
1990	16,5	21,4	20,6	-
2000	18,5	26,1	25,8	0,740
2009	20,5	33,0	31,4	0,694

Полученная зависимость (10), несмотря на ее простоту, является очень информативной. Во-первых, нелинейность связи свидетельствует о том, что в открытой системе «природа – человек» происходят не только обратимые, но и необратимые биологические процессы, которые могут привести к разрушению системы. Во-вторых, полученная зависимость позволяет оценить пороговые значения нагрузки на систему ($\bar{W} \leq 10 - 12\%$), при которых перестает действовать принцип Ле-Шателье – Брауна, т.е. экосистемы начинают самопроизвольно разрушаться. При этом процесс самопроизвольного разрушения экосистем усиливается во времени даже при сохранении существующей нагрузки на систему [35]. Изменение \mathcal{E}_k во времени описывается выражением:

$$\mathcal{E}_k(t) = \mathcal{E}_k \exp(0,015t) \quad (11)$$

где: \mathcal{E}_{k0} – площади разрушенных и трансформированных экосистем в момент времени $t = 0$, %; $\mathcal{E}_k(t)$ – то же самое в любой момент времени $t > 0$; t – время, годы.

При сохранении современных технологий и структуры экономики в странах бассейна площади разрушенных и трансформированных экосистем к 2025 году могут увеличиться с 31,4 % до $31,4 \exp(0,015 \times 16) = 39,9\%$.

В третьих – антропогенная нагрузка на природные системы в бассейне Аральского моря значительно превышает пороговые значения, что объясняет потерю экологической устойчивости.

В четвертых, полученные результаты дают возможность подойти к оценке экологической эффективности различных мероприятий, направленных на улучшение состояния бассейна. Основными целями стратегии решения проблем бассейна Аральского моря являются:

- восстановление качества экосистемных функций и услуг;
- улучшение состояния природных экосистем до уровня, при котором будет восстановлено действия принципа Ле-Шателье – Брауна, т.е. использование

биологических механизмов, регулирующих состояние системы «природа – человек» не во вред, а во благо человека;

- обеспечение справедливого распределения водных ресурсов между государствами и восстановление разрушенного водохозяйственного комплекса и его нормального функционирования.

Совершенно очевидно, что для решения этих проблем необходимо изменить технологии промышленного и сельскохозяйственного производства и структуру экономики стран бассейна Аральского моря. Однако, прежде, чем говорить об экологической, социальной и экономической эффективности модернизации необходимо рассмотреть ряд вопросов, включающих:

- возможность восстановления нарушенных экосистем и время их релаксации;
- возможность улучшения качества поверхностных вод и высвобождения достаточного объема водных ресурсов, необходимого для восстановления экологического каркаса;
- методы оценки экологической ценности земель как природного объекта (совокупность экосистем) и экологических ущербов;
- методы оценки экологической эффективности системы мероприятий;
- методы оценки социальной эффективности мероприятий.

Рассмотрение этих вопросов очень важно, т.к. еще в недавнем прошлом (1980-1985 гг) утверждалось, что основными являются социально-экономические проблемы, экологические проблемы практически не рассматривались. В качестве основного мероприятия считалась подача дополнительного объема водных ресурсов из других регионов. Дополнительный объем водных ресурсов предполагалось использовать только для дальнейшего увеличения площадей орошаемых земель до 13,4 млн. га [40]. Современное межгосударственное вододелиение также не включает подачу воды для решения экологических проблем, кроме санитарных попусков в дельты Амударьи и Сырдарьи в объеме $150 \text{ м}^3/\text{с}$ [3].

Данные многочисленных исследований дают основание утверждать, что нарушенные экосистемы после снятия (или уменьшения) антропогенной нагрузки самостоятельно восстанавливаются достаточно быстро. Однако это восстановление возможно лишь в тех случаях, когда снижение биоразнообразия и продуктивности экосистем не превышает 50 %. При превышении этого предела восстановление нарушенных экосистем требует обязательного участия человека и значительно большего времени. Существующий опыт восстановления черноземельских пастбищ на юге России, сильно деградированных земель Великих равнин в США, естественной растительности нарушенных ветландов Сырдарьи и Амударьи при их обводнении являются наглядным подтверждением этому. Таким образом, проблема заключается не в возможности, а в сроках восстановления нарушенных экосистем. Восстановление деградированных земель в России и США потребовало 15-25 лет. Восстановление водных и околородных экосистем в бассейне Аральского моря происходит значительно быстрее. Так например,

формирование богатейших экосистем искусственных озер Сарыкамыш и Арнасай произошло практически сразу, после образования водоемов. Этому способствовало то обстоятельство, что в этих водоемах, даже при минерализации воды ≥ 150 г/л, активно размножаются рачки артемии, являющиеся основой кормовой базы рыбы [45]. Более длительные сроки требуются для улучшения качества поверхностных вод, тугайных экосистем и речных долин. Необходимо иметь в виду, что восстановить качество речных вод до природного состояния невозможно, реально достижимая минерализация их может составить не ниже 0,6-0,8 г/л. Сроки восстановления тугайных экосистем и улучшения качества воды будут зависеть от динамики уровня Аральского моря, как замыкающего элемента и базиса эрозии гидрографической сети.

Таким образом, восстановление состояния природных экосистем возможно, но требует существенных затрат и времени, и чем раньше будет осознана необходимость восстановления, тем меньше будут ущербы и затраты.

Запасы водных ресурсов стран бассейна Аральского моря в расчете на душу населения составляет около 2,3 тыс. м³, что в несколько раз выше, чем в странах Ближнего Востока, но там не существует таких сложных проблем с водообеспечением населения, сельскохозяйственного и промышленного производства. Основная проблема с водными ресурсами в бассейне Аральского моря заключается не в ограниченном объеме, а в крайне нерациональном их использовании. Эффективность использования водных ресурсов в промышленности в 10-60 раз, а в сельском хозяйстве в 4-10 раз ниже, чем в развитых странах [42, 43, 44]. Приведенные данные позволяют сделать однозначный вывод – бассейн Аральского моря имеет достаточные резервы воды для решения экологических и социально-экономических проблем. Беда заключается в том, что за прошедшие с момента обретения независимости 20 лет практически ничего не сделано для приведения в порядок водного хозяйства стран и рационального использования природных ресурсов.

Оценка экологической ценности природных экосистем сопряжена с большими сложностями, которые связаны с отсутствием единого методического подхода и однозначного определения понятия «экосистемные услуги». Для оценки экологической ценности природных экосистем можно использовать метод замещения, суть которого заключается в создании искусственных аналогов, заменяющих функции нарушенных экосистемных услуг. Стоимость аналогов не является просто суммой ущербов, она включает создание механизмов, обеспечивающих нормальное функционирование экосистем. Анализ имеющихся данных показывает, что рыночная стоимость и экологическая ценность природных экосистем соотносится как 1:20 [30, 35, 50]. Таким образом, для оценки экологического ущерба необходимо знать не только площади нарушенных экосистем, но и степень их нарушенности, которая оценивается по снижению биоразнообразия и продуктивности. Величина экологического ущерба может быть оценена выражением [35]:

$$У_э = Э_к \lambda \Pi \quad (12)$$

где: $У_э$ – экологический ущерб, \$; λ – снижение биоразнообразия, %; Π – экологическая ценность, \$.

Для оценки социальной эффективности мероприятий по улучшению состояния экосистем необходимо знать связь между уровнем благосостояния населения и площадью нарушенных и трансформированных экосистем. В качестве показателя благосостояния населения целесообразно использовать индекс человеческого развития, отражающий продолжительность жизни, уровень доходов и образования населения. Такая связь получена нами на основании обобщения имеющихся данных [4, 24, 25].

$$\text{ИЧР} = 1,9 - \exp(0,0055 \text{ Э}_к) \quad (13)$$

Сопоставление расчетных и фактических значений ИЧР приведены в таблице 5.

Таблица 5

Расчетные и фактические значения ИЧР

Годы	Э _к , %	Значения ИЧР	
		Расчетные	Фактические
1980	14,5	0,817	0,830
2000	26,1	0,746	0,741
2009	33,0	0,701	0,700

Одним из основных экономических и политических показателей развития экономики государства считается внутренний валовый продукт (ВВП), представляющий собой рыночную стоимость всех конечных товаров и услуг, произведенных за год во всех отраслях экономики и предназначенных для непосредственного потребления, экспорта и накопления. Однако в последние годы выяснилось, что величина ВВП не может служить объективным показателем экономического развития государства. Реальное состояние экономики и благосостояние населения необходимо оценивать по величине экологически адаптированного валового внутреннего продукта, который равен ВВП минус потери от снижения общей ценности природных экосистем и благосостояния населения в результате истощения природных ресурсов и разрушения экосистем. Этот показатель и должен служить основным при оценке эколого-экономической эффективности системы предлагаемых мероприятий. При осредненной кадастровой стоимости земель в бассейне Аральского моря равной ~ 1000 \$/га, экологическая ценность составит 20 000 \$/га.

Приведенные данные позволяют сделать ряд выводов:

- бассейн Аральского моря находится в условиях нарастающего экологического кризиса, который превращается в кризис благосостояния населения. Индекс человеческого развития снижается по мере ухудшения экологических условий;
- улучшение состояния природных экосистем является единственным условием, обеспечивающим устойчивое развития и повышение благосостояние населения;
- современное неудовлетворительное состояние природных экосистем обратимо и может быть восстановлено до уровня, при котором будет выполняться действие принципа Ле-Шателье – Брауна;

- восстановление нарушенных экосистем будет успешным при условии, что основной стратегической целью мероприятий в бассейне Аральского моря будет снижение антропогенной нагрузки и площадей разрушенных и трансформированных экосистем до уровня 10-12 % от общей их площади;

- обоснование системы мероприятий по восстановлению природной среды должно основываться на оценке экологической, социальной и экономической эффективности;

- полученные эмпирические зависимости (9)-(13) позволяют оценить экологическую, социальную и экономическую эффективность различных сценариев, начиная от сохранения существующего положения, частичного переустройства оросительных систем и кончая восстановлением экологического каркаса бассейна.

В качестве возможных сценариев развития бассейна в статье использованы предложения Научно-исследовательского центра Международной Комплексной Водохозяйственной Комиссии, Всемирного банка и другие материалы [3, 7, 10, 15, 26, 27, 50, 51, 52].

Исходные данные для расчетов: $\bar{\omega} = 20,5 \%$; $\Theta_k = 31,4 \%$; ИЧР = 0,700; ВВП = 206 млрд. \$/год; экологический ущерб $Y_3 = 20\,000 \times 0,314 \times 0,4 = 2\,512$ \$/га в год, или на всю площадь бассейна 332 млрд. \$/год. Экологически адаптированный валовый продукт составляет $206 - 332 = -126$ млрд. \$/год, что свидетельствует о неэффективности экономики стран бассейна.

Первый сценарий Сохранение существующего положения и дальнейшее ухудшение состояния орошаемых земель. В течение ближайших 10-20 лет большая часть дренажа выйдет из строя, около 20 тыс. га орошаемых земель будет ежегодно выводиться из оборота. Рост ВВП составит 1 % в год. Расчетный срок – 2025 г.

Площади разрушенных и трансформированных экосистем к концу расчетного периода увеличатся до $\Theta_k(t) = 31,4 \exp(0,015 \times 16) = 39,9 \%$.

Экологический ущерб при этом составит: $Y_3 = 20\,000 \times 0,399 \times 0,4 = 3\,192$ \$/га в год, или на всю площадь бассейна – 421 млрд. \$/год.

Индекс человеческого развития, характеризующий благосостояние населения, составит: $\text{ИЧР} = 1,9 - \exp(0,0055 \times 39,9) = 0,650$.

Экологически адаптированный валовый продукт – $241 - 421 < 0$.

Таким образом, при сохранении существующего положения, экологические, социальные и экономические условия к 2025 г резко ухудшатся.

Второй сценарий Включает реконструкцию существующей коллекторно-дренажной сети, промывку засоленных земель, планировку полей на части площади орошаемых земель и повторное использование дренажных вод для полива. По существу, этот сценарий предусматривает не комплексное переустройство оросительных систем и сохранение водооборота и солеоборота на орошаемых землях. Переустройство

существующей оросительной сети (повышение КПД), совершенствование техники полива сельскохозяйственных культур практически не предусматривается.

Такой сценарий переустройства только одного из элементов существующих оросительных систем априори не эффективен. Восстановление коллекторно-дренажной сети и снижение уровня грунтовых вод с 1,5 до 2,5 м, при принятом режиме и технике орошения, исключает засоление орошаемых земель и повышает их плодородие и продуктивность. Вместе с тем, понижение уровня грунтовых вод приведет к резкому увеличению фильтрационных потерь из каналов существующей оросительной сети. Увеличение объема фильтрационных потерь при снижении уровня грунтовых вод с 1,5 до

2,5 м составит [16]: $\sqrt{\frac{2,5}{1,5}} = 1,29$. В целом по бассейну, при переустройстве дренажной сети на 50 % площади, объем дренажного стока и величины оросительных норм увеличатся ~ на 15 %, а эффективность использования воды снизится до $0,4/1,15 = 0,35$. Таким образом, никакой экономии водных ресурсов при таком переустройстве не будет. Увеличение объема дренажного стока и повторное использование дренажных вод приведут к увеличению минерализации речных вод и ухудшению состояния орошаемых земель, на которых не будет проведено переустройство дренажной сети.

Учитывая улучшение состояния части орошаемых земель, интенсивность антропогенной нагрузки снизится:

$\bar{\omega} = 20,5 - 3,5 \times \frac{106}{132} = 17,8 \%$, тогда $\Delta_k = 0,1 \times 17,8 + 0,07 \times 17,8^2 = 24 \%$, а с учетом времени $\Delta_k(t) = 24 \times \exp(0,015 \times 16) = 30,5 \%$. Экологический ущерб составит $20\,000 \times 0,305 \times 0,4 = 322$ млрд. \$/год. Экологически адаптированный валовой продукт в этом случае меньше 0. Социальная эффективность мероприятий – ИЧР = $1,9 - \exp(0,0055 \times 30,5) = 0,717$, т.е. несколько повысится.

Полученные данные позволяют сделать ряд выводов:

- переустройство существующих оросительных систем и улучшение состояния орошаемых земель является основным и наиболее эффективным мероприятием, обеспечивающим решение экологических, социальных и экономических проблем бассейна Аральского моря;

- переустройство существующих оросительных систем должно быть комплексным, т.е. включать улучшение коллекторно-дренажной и оросительной сетей, техники полива и системы сельхозпроизводства. Эффективность комплексного переустройства определяется тем, что во-первых, орошение земель обеспечивает производство с/х продукции и сырья для внутреннего потребления и экспорта; во-вторых – орошаемое земледелие является основным водопотребителем и основной причиной экологического, социального и экономического кризиса; в-третьих – переустройство существующих оросительных систем является единственным фактором восстановления экологического каркаса бассейна;

- при разработке стратегических планов необходимо рассматривать среднесрочную (до 2025 г) и долгосрочную (после 2025 г) перспективу.

Основные цели среднесрочной перспективы заключаются в изменении структуры экономики и переустройстве существующих оросительных систем. Основные задачи:

- диверсификация экономики, прекращение истощительного использования природных ресурсов, развитие перерабатывающих производств и снижение техногенных выбросов и сбросов. Изменение структуры ВВП за счет сокращения доли сельского хозяйства и увеличения доли промышленного производства, сферы услуг, транспорта и пр.;

- переустройство коллекторно-дренажной сети с целью понижения уровня грунтовых вод до 2,5-3 м;

- переустройство оросительной сети и повышение КПД системы каналов $\geq 0,85$;

- совершенствование техники полива с/х культур за счет широкого применения дождевания и капельного орошения;

- оптимизация структуры использования орошаемых земель и совершенствование системы земледелия;

- использование высвобождающихся водных ресурсов только для восстановления экологического каркаса, водных и околоводных экосистем;

- улучшение деградированных пастбищ;

- переустройство оросительных систем целесообразно осуществить не более, чем на 50 % площадей орошаемых земель;

- остальные орошаемые земли, характеризующиеся подтоплением, сильным засолением и малой продуктивностью на данном этапе развития должны быть исключены из оборота не менее, чем на 25-30 лет, т.е. на период, пока верхний метровый слой почвы не будет опреснен под действием атмосферных осадков. В долгосрочной перспективе эти земли можно будет использовать под естественные пастбища или орошаемые земли, но уже на новой технической и технологической основе и только при условии, что это не ухудшит экологического состояния бассейна.

Для анализа эффективности предлагаемых мероприятий необходимо определить потребность сельскохозяйственных культур в воде. Один из основных принципов орошаемого земледелия заключается в том, что растения и почва должны получать строго определенное количество воды. Недостаток воды, так же как и избыток ее, снижает не только продуктивность с/х растений, но и плодородие почв [2, 5, 17, 38, 42, 46, 56]. В настоящее время величины оросительных норм нетто в бассейне составляют 13-14 тыс. м³/га, что обусловлено неудовлетворительным состоянием водораспределения, устаревшей техникой полива и необходимостью борьбы с засолением почв. Эффективность использования воды на полях не превышает 0,45, остальной объем воды расходуется на поверхностные и глубинные сбросы и физическое испарение с поверхности почвы.

Использование современной техники полива (дождевание и капельное орошение) позволяет увеличить эффективность использования воды на полях до 0,7-0,95 и повысить урожайность с/х культур на 10-80 %, по сравнению с поливом по бороздам [54, 55]. Обобщение мирового опыта орошения в аридных регионах показывает, что величины оросительных норм нетто составляют в среднем 6 тыс. м³/га [42, 54, 55]. Такие низкие значения оросительных норм не означают, что с/х растения недополучают воду, просто при применении современной техники полива исключаются непроизводительные потери воды. Указанную величину оросительной нормы необходимо скорректировать с учетом особенности природно-хозяйственных условий бассейна Аральского моря.

$$O_1 = 6000 \times \frac{1}{1-\bar{c}_1} \left(\frac{\bar{c}_2-1}{\Delta} + 1 \right) \quad (14)$$

где: O_1 – оросительная норма нетто, м³/га; $\bar{c}_1 = c_1/c_0$; $\bar{c}_2 = c_2/c_0$; $\Delta = \Delta/\lambda m$; c_1 и c_2 – минерализация поливных и грунтовых вод, г/л; c_0 – допустимая минерализация почвенного раствора, г/л; Δ – глубина залегания грунтовых вод, м; m – пористость почвы, в долях от объема; λ – параметр, характеризующий особенности миграции солей в почве, м. При осредненных значениях величин, входящих в выражение (14) ($c_1 = 1,2$ г/л; $c_2 = 10$ г/л; $c_0 = 1,3$ г/л; $m = 0,4$; $\Delta = 2,75$; $\lambda = 0,3$) величина оросительной нормы нетто составит: $6000 \times 1,29 = 7740$ м³/га. Из этой величины 1740 м³/га приходится на промывной режим. Величина оросительной нормы брутто включает фильтрационные потери из оросительных каналов. Объем фильтрационных потерь при КПД = 0,85 составит: $\frac{1-0,85}{0,85} \times 7740 = 1360$ м³/га, а оросительная норма брутто $O_2 = 7740 + 1360 = 9100$ м³/га. Общий объем водопотребления орошаемого земледелия $W = 9100 \times 3\,900\,000 = 36$ км³/год. Объем дренажного стока $D = (1740 + 1360) \times 3\,900\,000 = 12$ км³/год. Минерализация речных вод в среднем и нижнем течении может снизиться до 0,8 г/л (см. таблицу 1).

Используя полученные данные, а также сведения о водном балансе Аральского моря, оценим изменение уровня и площади акватории моря [59]. Общий объем речного стока, поступающего в дельты рек и море, составит:

$$W_m = 116 - (W - D) - W_{\text{п}} - W_p - \Pi \quad (15)$$

где: W_m – приток воды к морю, км³; $W_{\text{п}}$ – водопотребление промышленностью и коммунальным хозяйством, км³ (15 км³); W_p – рассеивание стока в среднем и нижнем течении рек, км³. Рассеивание стока связано с повышением уровня воды в реках и снижением уровня грунтовых вод на орошаемых землях. В соответствии с расчетами $W_p = 14$ км³; Π – потери воды в дельтах рек – 8 км³ [16, 59]. Таким образом, $W_m = 55$ км³.

При таком объеме притока уровень воды в море может подняться на 21-26 м и достигнуть отметки 50-55 м. Площадь акватории моря может увеличиться до 5,7-6 млн. га. Изменение уровня моря и базиса эрозии может повысить уровень воды в реках на 4-6 м, по сравнению с существующим, что позволит улучшить состояние экосистем речных долин на 30-40 %.

Реализация указанных мероприятий позволяет снизить степень нарушенности структуры природных ландшафтов на 7, 5 %, в том числе на 3 % за счет улучшения состояния орошаемых земель, 2,5 % за счет увеличения акватории Аральского моря и 2 % за счет улучшения состояния экосистем речных долин. $\bar{\omega} = 20,5 - 7,5 = 13 \%$.

Экологическая, социальная и экономическая эффективность мероприятий составит:

- $E_k = 0,1 \times 13 + 0,07 \times 13^2 = 13,1 \%$. Это означает, что природные экосистемы бассейна могут быть восстановлены до уровня, при котором начинает действовать принцип Ле-Шателье – Брауна;

- $U_3 = 20\,000 \times 0,131 \times 0,3 = 786$ \$/га в год, или 104 млрд. \$/год на всю площадь бассейна;

- объем сельскохозяйственной продукции вырастет почти в 2 раза по сравнению с существующей;

- благосостояние населения может возрасти. ИЧР = $1,9 - \exp(0,0055 \times 13,1) = 0,825$;

- экологически адаптированный внутренний продукт $ВВП_0 = 450 - 104 = 346$ млрд. \$/год или 0,77 от ВВП

Выводы

1. Основным условием, обеспечивающим вывод из кризиса и устойчивое развитие стран бассейна Аральского моря, является улучшение состояния нарушенных экосистем до уровня, при котором будут действовать биологические механизмы, известные как принцип Ле-Шателье – Брауна. Предельные площади нарушенных экосистем не должны превышать 10-13 % от площади бассейна.
2. Состав мероприятий в среднесрочной перспективе (до 2025 г) должен включать комплексное переустройство существующих оросительных систем на 50 % площади орошаемых земель. Остальные 50 % орошаемых земель, характеризующихся средним и сильным засолением и малой продуктивностью, целесообразно вывести из оборота. Обоснование состава, объема и очередности реализации указанных мероприятий должно основываться на оценке экологической, социальной и экономической эффективности.
3. Реализация предусмотренных мероприятий может существенно улучшить состояние нарушенных экосистем бассейна, включая речные долины, водные и околководные экосистемы и Аральское море, а также повысить благосостояние населения. Объем сельскохозяйственной продукции может быть увеличен почти в 2 раза по сравнению с существующим.
4. Приведенные предложения и рекомендации основаны на обобщении имеющихся данных и эмпирических зависимостях и требуют дальнейших исследований и уточнений.

Список использованной литературы

1. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения. М, 1986.
2. Айдаров И.П. Очерки по истории развития орошения в СССР и России. М, 2006, 247 с.
3. Кийне В. Якоб Инициатива бассейна Аральского моря. Сводный отчет. IPTRID FAO, 2006, 60 с.
4. Домоскоп Weekly. № 235-236, 2006.
5. Будыко М.И. Эволюция биосферы. Л, Гидрометеиздат, 1981, 452 с.
6. Русманова Т.С., Афанасьева И.А. Изменение климата и биоклимата побережья Аральского моря в связи с понижением его уровня. Сб. Комплексные биоклиматические исследования, М, 1988, 213 с.
7. Региональный план действий по охране окружающей среды Центральной Азии. 2001, с 1-9.
8. Панкова Е.И., Айдаров И.П. Вторичное засоление почв в бассейне Аральского моря как проявление антропогенного опустынивания. ???
9. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием в республике Узбекистан. Ташкент, 1999, с. 59-76.
10. Uzbekistan National Report. Geneva, 2004, 14 с.
11. Алибеков Л.А., Алибекова С.Л. Социально-экономические последствия процесса опустынивания в Центральной Азии. Вестник Российской Академии наук, 2007, том 77, № 5, с 420-425.
12. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.В. Оценка влияния Южно-Каракалпакского магистрального коллектора на заповедник Бадай-Тугай. Аридные экосистемы. Том 9, № 19-20, с. 93-105.
13. Абдуллаев А.К. Проблемы деградации земель как результат их нерационального сельскохозяйственного использования и пути улучшения ситуации.
<http://www.caresd.net/land/01.html>
14. Проблемы деградации в Центральной Азии: Обзор. Ташкент, 2008, 78 с.
15. Камалов Ю. Экосистемы рек бассейна Аральского моря: существующие и ожидаемые угрозы. Geneva, 2004, с.1-5.
16. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. М, Колос, 1978, 265 с.
17. Айдаров И.П. Регулирование водного, солевого и питательного режимов орошаемых земель. М, 1985, 234 с.
18. Пегов С.А., Хомяков П.М. Моделирование развития экологических систем. Л, Гидрометеиздат, 1991, с. 67-79.
19. Айдаров И.П. Комплексное обустройство земель. М, 2007, 195 с.
20. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Том 2, М, Наука, 1972, 428 с.
21. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М, МГУ, 1984, 402 с.
22. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л, Наука, 1971. ???
23. Бектурова Г. Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием – ситуация в Казахстане. С.1-4.
<http://www.biodiversity.ru/programs/stoppe/bulletin/spet-34/opustun.html>

24. База данных Европейского регионального бюро «Здоровье для всех». Копенгаген, 2001 (www.who.dk).
25. Хайдеггер М. Восточный геополитический вектор внешней политики. С.1-3. <http://dergachev.ru/book-16/06.html>
26. Субрегиональная стратегия устойчивого развития Центральной Азии. Ашхабад, 2007, с. 1-17.
27. Аладин Н.В. Международная конференция «Арал: прошлое, настоящее, будущее – два века исследований на Аральском море». Ж. Аридные экосистемы, том 16, № 1 (41), 2010, с. 76-80.
28. Сорокин А.Г. Управление водным и наносным режимами водохранилищ бассейна Амударьи: инструменты и оценка. Труды Международной научной конференции. М, 2006, с. 285-288.
29. Экологические угрозы: основные характеристики. Государственный комитет республики Узбекистан по охране природы. <http://uznature.uz/rus/ekologicheskiegrozy.htm>
30. Биоразнообразии и экосистемы. Совет управляющих программы ООН по окружающей среде. Бали, Индонезия, 2010, с. 1-14.
31. Букварева Е.Н., Алешенко Г.М. Принцип оптимального разнообразия биосистем. Успехи современной биологии. 2005, том 125, вып. 4, с. 337-348.
32. Агроэкология. М, Колос, 2000, с. 448-452.
33. Конституция СССР. 1977.
34. Маслов Б.С., Гусенков Е.Н. и др. История мелиорации в России. М, Росинформагротех, тома 2,3, 2002.
35. Айдаров И.П. Проблемы природопользования и природообустройства России и пути их решения. М, 2010, 86 с.
36. Prigogin I., Stengers I. Order out of chaos, Heineman, London, 1984, 422 p.
37. Экосистемы в критических состояниях. М, Наука, 1989, 155 с.
38. Разработка мероприятий по рациональному использованию орошаемых земель в бассейне Аральского моря. Рукопись. Научный отчет научно-исследовательского сектора Московского гидро-мелиоративного института, 1989, 303 с.
39. Одум Ю. Основы экологии. М, Мир, 1975, 740 с.
40. Техничко-экономическое обоснование первой очереди переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан. М, Минводхоз СССР, 1982.
41. Чибилев А.А., Левыкин С.В. Целина, разделенная океаном (актуальные заметки о судьбе степей северного полушария). Степной бюллетень, № 1, 1998., с. 1-6.
42. Айдаров И.П. Проблемы мелиорации и водопользования. Ж. Природообустройство, № 2, 2008, с.5-19.
43. Вода или нефть. Создание единой водохозяйственной системы М, БИМПА, 2008, 446 с.
44. Gleick P.H. Global fresh water resources: soft-path solution for the 21-th centure. Science, 2003, 5650, p. 1524-1527.

45. Алиханов Б.Б., Франк Л.Г. Экологические индикаторы для оценки воздействия Аральского кризиса. Госкомитет республики Узбекистан по охране природы. Ташкент, 2010, с. 1-5.
46. Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. М, Агропромиздат, 1990, с. 58.
47. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижикова О.Н. и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М, Сельхозгиз, 1956, 200 с.
48. Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Географические закономерности продуктивности и круговорот химических элементов в основных типах растительности земли. В кн. Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л, Наука, 1969, с. 24-32.
49. Панкова Е.И., Айдаров И.П., Ямнова И.А. и др. Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря (география, генезис, эволюция). М, 1996, 184 с.
50. Духовный В.А., Сорокин А.Г., Тучин А.И. Проблемы управления водными ресурсами в Средней Азии. Будущее Аральского моря. INTAS 01-511 «Восстановление экосистем и биопродуктивности Аральского моря в условиях дефицита воды, 2002-2006, с. 244-248.
51. Алашанов Р. Экономика Центральной Азии. Часть 1. Газета «Казахская правда» от 20.07.2009.
52. Нарыбаев М.К. Казахстан и страны Центральной Азии: перспективы регионального экономического сотрудничества.
<http://www.analitika.org/article.php?story=2007040400442243&mode=print>
53. Индекс человеческого развития.
<http://www.statinfo.biz/data.aspx?act=7754&land=1>.
54. Прогрессивное сельское хозяйство как способ борьбы с распространением пустынь. 2007.
<http://moscow.mfa.gol.il/mfm/web/main/document.asp?DoccuID=15611&missio/>
55. Mihail Kogan Капельный полив. 2007.
<http://www.agrolist.com/Productionrus.aspx?cmd=read32>.
56. Шредер В.Р. Различные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейне Амударьи и Сырдарьи. Ташкент, 1970.
57. Экосистемы и благосостояние людей. Доклад концепциальной рабочей группы по «Оценке экосистем на пороге тысячелетия». Вашингтон-Ковело-Лондон, 2005, с. 1-84.
58. Кац Д.М., Шестаков В.М. Мелиоративная гидрология. М, МГУ, 1992, с. 1-50.
59. Раткович Д.Я. Гидрологические основы водообеспечения. М, 1993, с. 320-340.
60. Аральское море. 2010, 9 с.
<http://enrin.grida.no/htmls/aralsea/russian/arsea.htm>.