

**ПРОЦЕССЫ СОЛЕНАКОПЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ И В
КАЗАХСТАНЕ И ПУТИ ИХ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Д. с/х н. Панкова Е.И
Д. т. н. Айдаров И.П.

Одной из основных проблем орошаемого земледелия в бассейне Аральского моря и Казахстане, начиная с конца XIX века и по настоящее время, является засоление орошаемых земель. Площади засоления орошаемых земель, несмотря на применяемую систему мелиоративных мероприятий, включающих промывки, промывной режим орошения и дренаж, не только не снижаются, но во многих случаях даже возрастают [2, 14, 18].

Таблица 1

Площади орошаемых земель, %

Республика	Годы							
	1982	1983	1984	1985	1986	1988	1989	1999
Туркменистан								
Всего:	85,0	87,6	86,7	85,0	-	-	89,0	
В том числе:								
слабозасоленные	45,2	42,9	46,2	37,1	-	-	37,6	
среднезасоленные	26,2	29,6	25,9	30,9	-	-	38,7	
сильнозасоленные	13,6	15,1	14,6	17,0	-	-	12,7	
Узбекистан всего:	52,8	55,9	53,0	52,0	-	-	51,4	53,6
В том числе:								
слабозасоленные	35,0	37,8	30,3	30,6	-	-	31,3	30,8
среднезасоленные	14,1	14,6	17,7	16,2	-	-	14,4	18,3
сильнозасоленные	3,7	3,5	5,0	5,2	-	-	5,7	4,5
Таджикистан								
всего:	26,1	18,5	23,9	17,6	-	-	15,4	
В том числе:								
слабозасоленные	17,6	12,6	16,4	12,0	-	-	10,0	
среднезасоленные	4,6	3,2	4,1	3,1	-	-	4,2	
сильнозасоленные	3,9	2,6	3,4	2,5	-	-	1,2	
Киргизстан всего:	13,8	9,6	12,7	14,1	-	-	11,5	
В том числе:								
слабозасоленные	7,1	5,0	7,2	7,9	-	-	6,5	
среднезасоленные	4,0	2,7	3,7	4,3	-	-	3,5	
сильнозасоленные	2,7	1,5	1,8	1,9	-	-	1,5	

Казахстан всего:								
В том числе:								
Слабозасоленные								
Среднезасоленные								
Сильнозасоленные								
Всего								

Приведенные данные показывают, что засоление орошаемых земель прогрессирует в Туркменистане и Узбекистане. В Киргизстане и Таджикистане процессы соленакопления более или менее стабилизировались и даже наметилась тенденция некоторого снижения площадей засоленных земель.

В целом, все это говорит о том, что применяемые системы мелиоративных мероприятий по предупреждению и борьбе с засолением орошаемых земель в целом не эффективны. Для выяснения причин сложившегося тяжелого положения необходимо рассмотреть не только особенности техники и технологии орошения земель отдельных массивов, но и региональные гидрогеологические и геохимические процессы, определяющие состояние Туранской равнины в целом. В данной работе авторы пытаются осветить некоторые вопросы формирования регионального геохимического баланса Туранской равнины в естественных условиях и при развитии орошения и пути его регулирования. Методологической основой работы послужили представления о природном объекте как об открытой системе, существование которой обусловлено обменом вещества и энергии с окружающей средой.

Рассматриваемая территория представляет собой пустынную бессточную область площадью ~ 158 млн.га, из которых 140 млн. га приходятся на республики Узбекистан, Таджикистан, Туркменистан, Киргизстан и частично Казахстан. Орографически рассматриваемая территория подразделяется на 2 крупные части – горные массивы (~ 20% площади) и Туранскую равнину. Горная часть является зоной формирования региональных водных и геохимических потоков, постоянная интенсивность которых поддерживается за счет современного тектонического поднятия горных массивов. Туранская равнина, напротив, представляет собой зону тектонических погружений, бессточных низменностей, речных долин и дельт и является зоной разгрузки

гидрогеологических и геохимических потоков, аккумуляции воднорастворимых солей и речных наносов. Между этими двумя частями расположена полоса пролювиальных и делювиальных отложений подгорных равнин, конусов выноса и сухих дельт, сложенных в верхней части галечниками, сменяющимися в нижних частях глинистыми отложениями. При таком типичном геолого-литологическом строении подземные воды в верхних частях конусов выноса выклиниваются на поверхность в виде родников (сазовая зона), а в нижней части, уже в пределах Туранской равнины, приобретают напорность [5, 16, 21].

Все эти части связаны между собой потоками воды и солей и представляют единую в гидрогеологическом и геохимическом отношении систему, водный и геохимический баланс которой можно описать уравнениями:

$$\Delta W = O_c + П - E \quad (1)$$

$$\Delta G = G_{oc} + G_n \quad (2)$$

Где: ΔW и ΔG - изменение запасов влаги и солей, m^3 , т; O_c и G_{oc} - атмосферные осадки и поступление солей, m^3 , т; $П$ и G_n - поверхностный и подземный приток со стороны горной части и поступление солей, m^3 , т; E - испарение, m^3 .

В уравнениях (1, 2) отсутствует поверхностный и подземный отток воды и солей, что определяется бессточностью Туранской равнины в целом.

Поступление воды и солей с атмосферными осадками определяется достаточно просто по данным метеорологических станций и составляет

$$O_c = O_c^p \cdot \omega = 274 \text{ км}^3 \text{ в год}$$

где O_c^p - средняя величина атмосферных осадков, равная 245 мм или 2450 m^3 /га в год; ω - площадь Туранской равнины. $\omega = 140 \cdot 0,8 = 112$ млн.га.

Поступление солей с атмосферными осадками составит:

$$G_{oc} = 274 \cdot 0,025 = 7 \text{ млн.т в год}$$

(здесь 0,025 г/л - минерализация атмосферных осадков в естественных условиях [11]).

Гораздо сложнее оценить величины $П$, G_n и E . Для оценки этих величин в работе использована связь водного и энергетического балансов и данные метеорологических и геохимических исследований [9, 11, 12].

Величина (Е) для горной определяется из выражения:

$$E = O_c \sqrt{\bar{R} \cdot th \frac{1}{R} (1 - ch\bar{R} + Sh\bar{R})}, \quad (3)$$

а величина поверхностного и подземного стока для горной части как:

$$П = O_c - E \quad (4)$$

здесь: O_c - среднее значение суммы атмосферных осадков, равное для горной части 860 мм или 86 см; \bar{R} - «индекс сухости» Будыко;

$$\bar{R} = \frac{R^r}{L(O_c)} = \frac{168}{2,51 \cdot 86} = 0,78 \quad (5)$$

R^r – величина радиационного баланса, $R^r = 168$ кДж/см² год; L – скрытая теплота парообразования, $L = 2,51$ кДж/см³; th, ch, Sh – специальные функции.

Тогда величина E составит: $E = 860 \sqrt{0,78 \cdot 0,86(1 + 1,32 - 0,86)} = 512$ мм, а величина $П = 860 - 512 = 348$ мм или 3480 м³/га.

Общий поверхностный и подземный приток со стороны гор будет равен: $П = 3480 \cdot \omega_r = 3480 \cdot 46000000 = 160$ км³ в год (здесь ω_r - площадь горной части 158-112=46 млн.га), а общий геохимический сток $G_n = 160 \cdot C_n = 160 \cdot 0,5 = 80$ млн.т в год (C_n – минерализация подземных вод при выходе на равнину, $C_n = 0,5$ г/л).

Величина испарения (Е) для Туранской равнины в естественных условиях складывается из испарения с водной поверхности замыкающих элементов речных систем (Аральское море, озера Балхаш и Иссык-Куль) – E_b ; испарения с земель, характеризующихся гидроморфным режимом (уровень грунтовых вод 1-2 м) – E_r и земель с автоморфным режимом (уровень грунтовых вод > 3 м) – E_a .

$$\sum E = E_b + E_r + E_a \quad (6)$$

$$E_o = \omega_1 \cdot E_1 + \omega_2 \cdot E_2 + \omega_3 \cdot E_3 \quad (7)$$

где: $\omega_{1,2,3}$ - площадь акватории Аральского моря, озер Балхаш и Иссык-Куль, млн. га; E_1 , E_2 и E_3 – испарение с учетом водной растительности.

$$E_o = 6600000 \cdot 10500 + 1800000 \cdot 10500 + 620000 \cdot 5580 = 92$$
 км³ в год

$$E_r = 11000000 \cdot 10500 = 116$$
 км³ в год.

Величину E_3 определим, используя выражение (3) при $\bar{R} = 4,0$

$$E_3 = 245 \sqrt{4 \cdot 0,245(1 - 27,31 + 27,29)} = 240$$
 мм или 2400 м³/га, тогда E_a составит

$$E_a = 2400 \cdot 92000000 = 220$$
 км³ в год, а

$$\sum E = 92 + 116 + 220 = 428 \text{ км}^3 \text{ в год.}$$

Подставляя полученные величины в уравнение (1) получим:

$$\Delta W = 274 + 160 - 428 = +6 \text{ км}^3 \text{ в год}$$

Учитывая, что в многолетнем плане величина $\Delta W = 0$, водный баланс сводится с достаточной точностью, величина невязки составляет $\sigma = \frac{6}{274+160} \cdot 100 = 1,4\%$ от суммы приходных статей баланса.

Геохимический (солевой) баланс Туранской равнины складывается иначе.

$$\Delta G = G_{oc} + G_n = 7 + 80 = 87 \text{ млн.т в год.}$$

Этот вывод не нов, процесс активного соленакопления в пределах Туранской равнины отмечался и ранее [11, 12 и др.]. Гораздо важнее оценить дальнейшую судьбу поступивших солей. К сожалению, этот вопрос почему-то выпадает из поля зрения ученых, а ведь он является очень важным. Используя материалы гидрологических и геохимических исследований, рассмотрим подробно судьбу поступивших в пределы Туранской равнины солей. Поверхностный сток в замыкающие элементы речных систем (Аральское море, озера Балхаш и Иссык-Куль) в естественных условиях составлял $\sim 80 \text{ км}^3$ в год (остальной поверхностный сток рассеивался в среднем и нижнем течении рек). При минерализации речных вод $C = 0,5 \text{ г/л}$ общий геохимический сток составит $80 \cdot 0,5 = 40 \text{ млн.т}$ в год. Характерной особенностью указанных водоемов является постоянство минерализации их вод [7, 8, 11, 12, 17, 20, 22]. Следовательно, практически весь геохимический сток усваивался водными экосистемами водоемов и полностью выводился из активного геохимического оборота. Кроме того, в естественных условиях сток рек Чу, Талас, Асса и др. почти полностью поступал в низовья, где формировались обширные разливы. Эти разливы круглогодично наполнялись речным стоком и отличались богатейшими водными и околородными экосистемами, усваивавшими весь геохимический сток. Объем этого стока равен $4 \text{ км}^3 \cdot 0,5 \text{ г/л} \approx 2 \text{ млн.т}$ в год [20].

Но и это еще не все, около 10 млн.т поступало ежегодно в замкнутые понижения и депрессии (Арнасай, Тузкане, Сары-Камыш и др.) и тоже выводилось из активного геохимического оборота [11, 12, 20].

Таким образом, из общего геохимического притока (87 млн.т в год) только $87 - 40 - 2 - 10 = 35 \text{ млн.т}$ в год (или 40 %) поступало в

отложения и грунтовые воды Туранской равнины, остальные 60 % из геохимического оборота просто выводились и на процессы соленакопления в почвах не оказывали влияния.

Приведенные материалы позволяют оценить обоснованность представлений климатологов, геологов, почвоведов и географов об использовании водных и земельных ресурсов бассейна Аральского моря и Казахстана. Известный климатолог Воейков А.И. в 1908 г писал:... «В отдаленном будущем, при желательных успехах гидротехнического дела и сельского хозяйства мы должны воспользоваться всей водой бассейна Арала в маловодные годы для искусственного орошения. Озеро должно служить для стока излишней воды «многоводных годов» [10]. На первый взгляд эти рекомендации кажутся вполне обоснованными, но только на первый взгляд. Анализ многолетних рядов по стоку Амударьи и Сырдарьи показал, что если использовать для орошения весь сток маловодных лет (обеспеченностью 80 %), то в Аральское море, с учетом потерь стока в среднем и нижнем течении рек, поступит не более 20 км³ в год, а это означает, что отметки воды в море снизятся на 10-15 м, а площадь акватории сократится на 75-80 %! Если же учесть, что продолжительность серии маловодных лет может достигать 3-4 лет, то гибель Аральского моря будет неизбежна.

Не менее субъективным было и мнение геологов, географов и почвоведов (Яншина А.Л., Герасимова И.П., Зонна С.В., Арманд Д.Л.). В капитальном труде «Средняя Азия» [23] они писали: ... «Аральское море и прилегающие дельты испаряют примерно 60 км³, которые пополняются главным образом двумя реками и в малой степени осадками и подземными водами. А это испарение бесполезная потеря. Искусственное понижение Аральского моря или его исчезновение как озера привело бы к осушению огромных болотных массивов в дельте Амударьи и Сырдарьи, к понижению уровня грунтовых вод, а следовательно, к улучшению мелиоративной обстановки. Эти земельные массивы могли бы быть частично вовлечены в сельскохозяйственное использование»!

Каковы же в действительности последствия широкого развития орошения в бассейне Аральского моря и почему ранее отсутствовавшая проблема засоления орошаемых земель стала в настоящее время одной из основных?

Прежде, чем говорить о влиянии орошения на геохимическую обстановку, рассмотрим опыт орошения земель в бассейне Аральского моря в период до присоединения Туркестана к России.

Орошаемые земли в бассейне Аральского моря до присоединения Туркестана к России были сосредоточены в пределах предгорных зон и конусов выноса (Ферганская и Вахшская долины, Туркмения), речных долин в среднем и нижнем течении Амударьи и Сырдарьи, сухих дельт (Зеравшан, Теджен, Мургаб и др.). Такое размещение орошаемых земель было обусловлено рядом причин, основными из которых были наличие пресных водных ресурсов и возможность самотечного забора воды на орошение из родников и рек, благоприятные агроклиматические условия, наличие незасоленных плодородных почв и возможность использования пресных грунтовых вод. Особенности геоморфологических, гидрогеологических и геохимических условий определили технические схемы и конструкцию оросительных систем. В целом, существовавшие в то время оросительные системы обладали высоким уровнем организации и технологичности и обеспечивали не только эффективное использование водных и земельных ресурсов и надежное регулирование водного и солевого режимов и балансов орошаемых земель, но и сохранение экологического равновесия территорий.

Конструктивно оросительные системы в сазовой зоне представляли собой системы естественных водотоков глубиной 1-1,5 м, которые одновременно выполняли роль и оросительной и дренажной сети. Вода на поля подавалась при помощи примитивных дренажных устройств (чигири и др.). Такая конструкция оросительных систем обеспечивала сохранение естественного гидроморфного режима и возможность использования растениями пресных грунтовых вод. Сохранение естественного гидроморфного режима не приводило к изменению величины притока и оттока подземных вод, а испарение сельскохозяйственных растений было примерно равно испарению естественной растительности.

Таким образом, водный баланс орошаемых земель по сравнению с естественными условиями практически не менялся. Также обстояло дело и с солевым балансом орошаемых земель; минерализация вод подземного притока и оттока в естественных условиях и при орошении была постоянной ($\leq 0,5$ г/л), что при

сумме атмосферных осадков $O_c = 350$ мм исключало развитие процессов вторичного засоления почв.

Несколько иная конструкция оросительных систем была в пределах речных долин и дельт. Водозабор осуществлялся самотечно из рек, а распределение воды по площади – системой искусственных земляных каналов глубиной ~ 1,5 м. Подача воды на поля производилась также с помощью чигирей.

Сохранение естественного гидроморфного режима, как и в предыдущем случае, обеспечивало стабильность притока фильтрационных вод со стороны реки и оттока их за пределы орошаемых массивов, а следовательно, и стабильность минерализации грунтовых вод (~ 0,5-0,6 г/л). Пресные поливные воды и мощная толща опресненных аллювиальных отложений исключали развитие процессов засоления орошаемых земель.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что опыта орошения засоленных или подверженных засолению земель в бассейне Аральского моря не было. Развитие орошения земель подверженных засолению после присоединения Туркестана к России и в более поздние годы вплоть до 1990 г практически осуществлялось без учета региональных экологических и геохимических условий и возможных их изменений в процессе мелиоративного и водохозяйственного строительства.

Что же в результате произошло? Не останавливаясь на анализе динамики экологических и геохимических процессов, рассмотрим общую ситуацию, сложившуюся в бассейне Аральского моря и в Казахстане к 1990 году.

К этому времени ввод новых орошаемых земель практически прекратился, а гидрогеологическая обстановка на орошаемых землях более или менее стабилизировалась [18].

В 1990 г площади орошаемых земель составляли ~ 8 млн.га, водозабор на орошение – 105 км^3 в год, в результате чего приток к замыкающим элементам основных речных систем (Аральское море, озера Балхаш и Иссык-Куль) сократился с 80 до $22,5 \text{ км}^3$ в год [1, 7, 12, 13, 17, 20, 22]. Снижение притока в эти крупные водоемы привело к развитию ряда негативных экологических, гидрогеологических и геохимических процессов, как в самих водоемах, так и в природной системе в целом.

Снижение притока в Аральское море с 63 до $9,6 \text{ км}^3$ в год привело к понижению его уровня на 18-20 м, уменьшение площади

акватории с 66 до 25 км² и разрушению водных и околоводных экосистем и, как следствие, резкому увеличению минерализации морских вод с 10-12 г/л до 29 г/л [2]. В результате этого Аральское море утратило роль регулятора климата и геохимических потоков. Климат Приаралья стал более континентальным, а сумма активных температур снизилась на 400-500 °С, что ухудшило условия сельскохозяйственного производства, особенно в Каракалпакии [19]. Разрушение водных экосистем моря привело к тому, что оно из регулятора (поглотителя) геохимических потоков стало источником засоления земель в результате атмосферного солепереноса с осушенного дна. Минерализация атмосферных осадков в равнинной части бассейна Аральского моря возросла с 0,025 до 0,065 г/л [11]. Количество солей, поступивших в результате атмосферного солепереноса в современных условиях составляет: $O_c \cdot C_{oc} = 274 \cdot 0,065 = 18$ млн.т в год (здесь O_c – поступление влаги с атмосферными осадками, км³ в год; C_{oc} – минерализация осадков, г/л). Озера Балхаш и Иссык-Куль пострадали гораздо меньше; приток к озерам сократился с 15 до 10 км³ в год и с 3,9 до 2,9 км³ в год, а площади акватории с 18 до 16 тыс. км² и с 6,2 до 5,7 тыс. км² соответственно [13, 20, 22]. Водные экосистемы озер практически сохранились, также как и их роль в регулировании геохимических процессов.

Понижение уровня Аральского моря и изменение в связи с этим базиса эрозии вызвало резкое усиление русловых процессов и понижение уровня воды в среднем и, особенно, в нижнем течении рр. Амударьи и Сырдарьи. Реки из источников питания аллювиальных отложений и грунтовых вод речных долин превратились в естественные дрены со всеми вытекающими отсюда последствиями. Изменение направления подземного потока коренным образом нарушило исторически сложившиеся гидрогеологические и геохимические условия речных долин и, в первую очередь, привело к уменьшению зоны опресненных аллювиальных отложений и увеличенную минерализацию грунтовых вод. Это в свою очередь обусловило возникновение ранее отсутствующей проблемы засоления орошаемых земель. Кроме того, снижение горизонтов воды в реках потребовало реконструкции самотечных водозаборов и существующих оросительных систем.

Превращение рр. Сырдарьи и Амударьи в естественные дрены изменило условия формирования гидрохимического режима самих рек. В естественных условиях минерализация речных вод формировалась (увеличивалась) только до выхода рек на равнину и далее оставалась практически постоянной до устья. В современных же условиях минерализация речных вод формируется (увеличивается) уже на всем их протяжении в результате поступления в реки минерализованных подземных вод. Рис. 1 Увеличению минерализации речных вод в значительной степени способствует также и сброс в реки большого количества минерализованных коллекторно-дренажных вод. Из общего объема коллекторно-дренажных вод, достигающего 35 км^3 в год, 51 % сбрасывается непосредственно в реки, 16 % - повторно используется для орошения земель и 33 % - поступает в депрессии (Сарыкамыш, Арнасай и др.) [1, 2].

Широкое развитие орошения изменило водный и геохимический режимы и балансы как самих орошаемых земель, так и примыкающих территорий. Водный режим изменился в результате трансформации автоморфного режима в полугидроморфный на орошаемых землях, ликвидации разливов в низовьях рек Чу, Талас и др. и изменения гидрогеологических условий в среднем и нижнем течении рек. Однако изменение водного режима не повлекло за собой изменение водного баланса бессточной Туранской долины в целом. Приходные статьи водного баланса (O_c и P) остались неизменными, также как и расходная статья (E); увеличение испарения с орошаемых земель и поверхности водохранилищ практически полностью компенсируется снижением испарения с акватории крупных водоемов и площади ликвидированных разливов в низовьях рек.

Иначе обстоит дело с геохимическим режимом и балансом. Обе составляющие геохимического баланса (G_{O_c} и G_n) в связи с развитием орошения изменились. Орошение земель в верховьях рек Амударьи и Сырдарьи (Ферганской и Вахшской долины и притоков) привело к усилению геохимических потоков в результате выщелачивания солей и поступления их с подземными и коллекторно-дренажными водами обратно в реки. Это увеличение по сравнению с естественными условиями составляет $\sim 30 \%$ (Рис.1).

Таким образом, вынос солей с горной части на равнину составил в современных условиях $80 \cdot 1,3 = 104$ млн.т в год. Увеличилось и поступление солей с атмосферными осадками с 7 до 18 млн.т в год. Общее поступление солей на равнинную часть территории увеличилось с 87 до 122 (104 + 18) млн.т в год или в 1,4 раза, что естественно отразилось на геохимическом режиме региона и в первую очередь на орошаемых землях. Поясним это конкретными цифрами. По данным [2], в Аральское море в современных условиях поступает 12,5 млн.т в год, в оз. Балхаш – 5,8 и оз. Иссык-Куль – 0,9 млн.т в год или в сумме 19 млн.т в год. В бессточные депрессии Арнасай, Сарыкамыш и др. поступает 33 % общего дренажного стока или $35 \cdot 0,33 \cdot 5 = 58$ млн.т солей в год. Следовательно, в толщу отложений и грунтовые воды поступает $122 - 19 - 58 = 45$ млн.т солей в год, что на 30 % больше, чем в естественных условиях (34 млн. т). Основная часть поступления этих солей приходится на орошаемые земли. Для подтверждения этого вывода рассмотрим геохимический (солевой) баланс зоны аэрации (3 м) орошаемых земель основных массивов. Уравнение геохимического (солевого) баланса в этом случае можно представить в виде:

$$\Delta G_n = G_{oc} + G_{op} - D\alpha \quad (8)$$

где: ΔG_n - изменение запасов солей в зоне аэрации, т/га; G_{oc} – поступление солей с атмосферными осадками, т/га; G_{op} – поступление солей с оросительной водой, т/га; D – общий вынос солей с дренажными водами, т/га; α - доля солей, поступивших в дренажные воды из зоны аэрации. Значение коэффициента α определяется параметрами дренажа и особенностями гидрогеологических условий и по данным теоретических и экспериментальных исследований составляет 0,4-0,8 [4, 5]. Обобщение многочисленных данных по величинам оросительных норм, параметрам дренажа, объему дренажного стока, минерализации оросительных и дренажных вод и расчеты геохимического (солевого) баланса зоны аэрации на орошаемых землях приведены в таблице 2 [1, 2, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 18, 19].

Таблица 2

Геохимический (солевой) баланс зоны аэрации
орошаемых земель

Массив орошения	G_{Op} , т/га	G_{Oc} , т/га	$\sum G$, т/га	D , т/га	α	αD , т/га	ΔG , т/га	Изменение площадей засоленных орошаемых земель за период с 1970-85 по 1990 г, %
Голодная степь (старая зона)	18,0	0,2	18,2	22,0	0,8	17,6	+0,6	1985 -17%, 1990 – 29% [1]
Голодная степь (новая зона)	19,2	0,2	19,4	29,3	0,6	17,6	+1,8	1970 -26%, 1990 – 54% [1]
Хорезмский оазис	19,8	0,3	20,1	16,9	0,8	13,5	+6,6	1970 -22%, 1990 -44% [1]
Каракалпакия	21,0	0,4	21,4	24,4	0,8	19,5	+1,9	1970 -39%, 1990 – 58% [1]
Ташаузский оазис	21,2	0,4	21,6	23,7	0,8	19,0	+2,6	1970 -40%, 1990 -60% [1, 2]
Ферганская долина	15,2	0	15,2	18,0	0,7	12,6	+2,6	1985 –22%, 1990 -53% [1, 2]
Каршинская степь	14,8	0	14,8	21,0	0,7	14,7	+0,1	1980 -10%, 1990 -21% [15]
Вахшская долина	7,5	0	7,5	19,0	0,4	7,6	-0,1	1985-17,6% 1990-15,4% [16]
Чуйская долина	2,6	0	2,6	8,5	0,4	3,4	-0,8	1985-14,1% 1990-11,5% [16]
Бухарский оазис	1,9	0	1,9	3,1	0,4	1,2	+0,7	1970 -26%, 1990 -27% [1, 2]

Полученные данные показывают, что отрицательный геохимический (солевой) баланс на орошаемых землях в 1990 г складывался только в Чуйской и Вахшской долинах. Этот вывод подтверждается данными наблюдений за засолением орошаемых земель. На всех остальных массивах орошения солевой баланс положительный, что свидетельствует о процессе современного соленакопления. Площади засоленных орошаемых земель за период с 1970-85 гг по 1990 г на этих массивах по данным наблюдений увеличились в 1,1-2,5 раза.

Как же выйти из сложившегося тяжелого положения? Выполненный анализ региональных процессов соленакопления показал, что для улучшения общей ситуации необходимо изменить условия формирования геохимического баланса как региона в целом, так и орошаемых земель.

Однако коренным образом изменить региональный геохимический баланс практически невозможно без изменения состояния Аральского моря и снижения интенсивности геохимических потоков в верховьях рек Амударья и Сырдарья.

Рассчитывать на увеличение притока к Аральскому морю, площади его акватории и восстановление водных экосистем в обозримой перспективе нет оснований, поэтому нельзя рассчитывать и на уменьшение поступления солей с атмосферными осадками (атмосферный солеперенос). Речь может идти лишь о некотором снижении интенсивности геохимического притока со стороны гор за счет реконструкции существующих оросительных систем в верховьях основных рек (Ферганская и Вахшская долины и долины рек Зеравшана, Сурхандарьи, Кафирнигана, Кашкадарьи и др.). Основная цель реконструкции существующих оросительных систем – снижение поступления минерализованных возвратных вод за счет совершенствования техники и технологии орошения.

Повышение КПД системы каналов и техники полива до 0,85-0,9 и $\geq 0,95$ обеспечит снижение объемов минерализованных возвратных вод в 1,5-2 раза по сравнению с современными условиями. Вместе с тем, необходимо иметь в виду, что эффект от реконструкции в смысле снижения минерализации речных вод в месте выхода на равнину скажется не сразу, а после стабилизации гидрогеологической обстановки. Время стабилизации подземных потоков можно оценить, используя выражение: [3, 4]

$$\tau = \frac{\delta L^2}{km} \quad (9)$$

Где: τ - время стабилизации гидрогеологических условий после реконструкции, сут.; δ - коэффициент водоотдачи водоносных отложений; L – среднее расстояние до реки, м; k и m – коэффициент фильтрации и мощность водоносных отложений, м/сут. и м.

При средних значениях $\delta = 0,07$, $L = 20000$ м, $k = 10$ м/сут, $m = 200$ м, получим:

$$\tau = \frac{0,07 \cdot 20000^2}{10 \cdot 200} = 14000 \text{ сут. или } 38 \text{ лет.}$$

И несмотря на это и на огромные затраты реконструкция существующих оросительных систем как в верховьях рек, так и в целом в регионе, является необходимым мероприятием. Вопрос заключается лишь в обосновании очередности реализации тех или иных мероприятий, связанных с реконструкцией существующих оросительных систем. При обосновании очередности реализации мероприятий по реконструкции существующих оросительных систем приоритетным (первоочередным) является улучшение почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель и сведение к минимуму (или исключение) засоления почв. К числу таких мероприятий относится полное исключение сброса минерализованных коллекторно-дренажных вод в реки и повторного использования этих вод для орошения земель. Это мероприятие должно быть в первую очередь реализовано на орошаемых землях среднего и нижнего течения рек Амударьи и Сырдарьи, где из общего объема коллекторно-дренажных вод (35 км^3) в настоящее время только 33% сбрасываются в депрессии Сарыкамыш, Арнасай и др. Остальные 67 % (или 23 км^3) поступают в реки или используются на орошение. Реализация этого мероприятия позволит изменить геохимический (солевой) баланс орошаемых земель

$$122 - 19 - 54 - 35 \cdot 0,67 \cdot 4 = -45 \text{ млн. т в год}$$

Коллекторно-дренажные воды необходимо сбрасывать в Аральское море или в депрессии, или использовать в пустынях Кызылкумы и Каракумы для увлажнения естественных биоценозов.

Исключение сброса минерализованных коллекторно-дренажных вод в реки хотя и снизит минерализацию речных вод, но не до естественного состояния. Дело в том, что если в

естественных условиях реки питали аллювиальные отложения и их минерализация оставалась постоянной до устья, то в современных условиях они превратились в дрены. Несложные расчеты показывают, что приток подземных вод в реки Амударья и Сырдарья может составить 0,5-0,6 км³ в год, а минерализация речных вод в устье при сохранении существующего расхода – 0,8-1 г/л.

Оценим, как изменится солевой баланс по основным массивам орошаемых земель в слое 3 м после реализации указанного мероприятия. Снижение минерализации оросительных вод дает возможность уменьшить величины оросительных норм нетто и объем дренажного стока. Снижение величин оросительных норм нетто можно оценить используя выражение [3, 4]

$$\bar{O}_p = \frac{O_p}{E - O_c} = \frac{1}{1 - C_n} \left(\frac{C_p - 1}{\Delta} + 1 \right) \quad (10)$$

здесь: O_p – оросительная норма нетто, м³/га; $(E - O_c)$ – дефицит водного баланса, м³/га; $\bar{C}_n = \frac{C_n}{C_o}$; $\bar{C}_r = \frac{C_r}{C_o}$; $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{\lambda \cdot m}$; C_n и C_r – минерализация оросительных и грунтовых вод, г/л; C_d – допустимая минерализация почвенного раствора, г/л; Δ – глубина залегания грунтовых вод, м; λ – коэффициент гидродинамической дисперсии, м; m – пористость почв, в долях от объема.

Уменьшение объема выноса солей пропорционально снижению нагрузки на дренаж.

$$\bar{D}_p = \frac{D_{p_1}}{D_{p_0}} = \frac{(100 - КИВ_1) \bar{O}_{p_1}}{(100 - КИВ_0) \bar{O}_{p_0}} \quad (11)$$

где: \bar{D}_p – уменьшение выноса солей с дренажем, в долях от исходного; КИВ – коэффициент использования воды, КИВ = КПД_с × КПД_т; КПД_с и КПД_т – коэффициенты полезного действия системы каналов и техники полива, %; \bar{O}_{p_0} и \bar{O}_{p_1} – величины оросительных норм нетто (см. выражение 10).

Расчет геохимического (солевого) баланса орошаемых земель выполним при следующих осредненных данных: $C_n = 1$ г/л; $C_r = 10$ г/л; $C_d = 6$ г/л; $\Delta = 3$ м; $\lambda = 0,5$ м; $m = 0,5$; КПД_с = 0,6; КПД_т определяется как $1 - \bar{O}_p$. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Геохимический (солевой) баланс 3 м слоя орошаемых земель*

Показатели	Голодная степь (старая зона)	Хорезмская область	Ташаузская область	Каракал-пакия
Снижение оросительных норм нетто	0,90	0,90	0,90	0,92
Снижение минерализации поливных вод	0,68	0,83	0,77	0,71
Поступление солей с поливной водой, т/га	11,0	14,8	14,7	13,7
Отвод солей дренажем из 3 м слоя, т/га	11,9	15,2	17,1	17,9
Геохимический (солевой) баланс, т/га	- 0,9	- 0,4	- 2,4	- 4,2

*Расчеты выполнены для орошаемых массивов, где реально может быть снижена минерализация поливных вод.

Для крупных массивов орошения, где ожидать в ближайшей перспективе снижения минерализации поливных вод нет основания, необходима реконструкция оросительных систем с доведением КПД_с до 0,85-0,9, КПД_г ≥ 0,95 и КИВ до 0,81-,86. К таким объектам относятся в первую очередь Ферганская и Вахшская долины и долины рек Сурхандарьи, Кашкадарьи, Кафирнигана и др. Такая очередность реконструкции существующих оросительных систем обусловлена во-первых, необходимостью снижения минерализации речных вод и интенсивности геохимических потоков и во-вторых – улучшением мелиоративной обстановки.

Расчеты показывают, что реализация этих мероприятий позволит предотвратить процесс соленакопления в почвах орошаемых земель.

Наряду с реконструкцией существующих оросительных систем указанных объектов целесообразно увеличить использование не связанных с речным стоком пресных подземных

вод за счет отбора их в верхних частях подгорных равнин и конусов выноса. Объем этих подземных вод не превысит 5-7 км³ в год, что позволит уменьшить геохимический сток ~ на 2-3 млн.т в год. Использовать эти воды для орошения земель не целесообразно, т.к. они по сути являются резервом пресных вод для водоснабжения населения.

Наиболее сложной является проблема улучшения геохимического (солевого) баланса для таких крупных массивов орошения как Голодная, Джизакская и Каршинская степи, Бухарский оазис. На этих массивах потребуется не только реконструкция существующих оросительных систем и совершенствование техники и технологии орошения, но и сокращение площадей орошения.

В результате реализации всех указанных мероприятий объем водопотребления орошаемого земледелия может быть сокращен на 30-35 %, т.е. на 30-35 км³ в год.

ВЫВОДЫ

1. Применяемая система мелиоративных мероприятий по предупреждению и борьбе с засолением орошаемых земель в бассейне Аральского моря и в Казахстане в целом оказалась не эффективной.
2. Основные причины ухудшения почвенно-мелиоративных условий и прежде всего засоления орошаемых почв связаны с недостаточным учетом региональных геохимических процессов и роли Аральского моря как замыкающего элемента основных речных систем в регулировании солевого баланса региона в целом и орошаемых земель в частности.
3. Анализ особенностей формирования геохимического (солевого) баланса региона и орошаемых земель позволил сформулировать основные мероприятия по регулированию процессов соленакопления, обеспечивающие сведение к минимуму (или предотвращение) засоления орошаемых земель. Эти мероприятия включают прекращение сброса коллекторно-дренажных вод в реки и повторное

использование их для орошения и реконструкцию существующих оросительных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aral Sea Basin. World Bank Program. 3.1.B, Improvement of Agricultural Water Quality, 1995, p. 50.
2. Gateway to Land and Water information. Tashkent, Uzbekistan, 1999, p.75.
3. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М, Колос, 1982, с 19-69.
4. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. М, Колос, 1987, с 3-80.
5. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М, Агропромиздат, 1985, с 42-234.
6. Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. М, Агропромиздат, 1990, 58 с.
7. Асарин А.Е. Применение искусственных рядов притока и испарения для расчета ожидаемых уровней замкнутых водоемов. Гидротехническое строительство, № 8, 1972, с.10-11.
8. Блинов Л.К. Гидрохимия Аральского моря. Л, Гидрометиздат, 1956, с. 252.
9. Будыко М.И. Глобальная экология. М, Мысль, 1977, 316 с.
10. Воейков А.И. Орошение Закаспийской области с точки зрения географии и климатологии. СПб, 1908, 110 с.
11. Глазовский Н.Ф. Аральский кризис. М, Наука, 1990, с. 3-50
12. Глазовский Н.Ф. Современное соленакопление в аридных областях. М, Наука, 1987, с.192.
13. Гронская Т.П. Обзор исследований водного баланса, термического и гидрохимического режима оз. Иссык-Куль. Л, 1980, с. 6-9.
14. Кадастры мелиоративного состояния орошаемых и осушаемых земель. М, МВХ, 1982-1998, 130 с.
15. Каримов Э.К. Улучшение эколого-мелиоративного состояния и повышение продуктивности

- сельскохозяйственных земель Узбекистана. М, МСХА, 1994, с. 50-104
16. Кац Д.М., Шестаков В.М. Мелиоративная гидрогеология. М, МГУ, 1981, с.45-143.
 17. Коренистов Д.В., Критский Р.Н., Менкель М.Ф., Шимельшиц И.Я. Проблемы Аральского моря. Водные ресурсы, № 1, 1992, с. 138-162.
 18. Панкова Е.И., Айдаров И.П., Ямнова И.А., Новикова А.Ф., Благоволин Н.С. Природное и антропогенное засоление почв Аральского моря (география, генезис, эволюция). М, 1996, с. 7-148.
 19. Разработка мероприятий по рациональному использованию орошаемых земель в бассейне Аральского моря. Отчет НИС МГМИ, 1990 (рукопись), с 41-136.
 20. Раткович Д.Я. Гидрологические основы водообеспечения. М, РАН, 1993, с. 320-368.
 21. Решеткина Н.М., Барон В.А., Якубов Х. Вертикальный дренаж. М, Колос, 1961, с.13-85.
 22. Соколов А.А., Циценко К.В. Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или_Балхашской проблемы. Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 4, Л, Гидрометеоиздат, 1989, с. 300-308.
 23. Средняя Азия (под редакцией Герасимова И.П.). М, Наука, 1968, с.10-11.