

# ПОБОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗБЫТОЧНОГО ОРОШЕНИЯ

Никольский Ю.Н. и Айдаров И.П.

## Краткое содержание

Избыточное орошение относится в основном к поверхностному самотечному орошению по бороздам, полосам и затоплением. Оно является наиболее распространенным в мире, особенно в регионах без существенного ограничения водного ресурса. Такое орошение характеризуется несовершенством техники и технологии полива и часто сопровождается большими потерями воды на глубокое просачивание воды по профилю почвы на орошаемых полях, а также часто имеет несовершенное состояние сети распределительных каналов, когда у них нет или недостаточно противодиффузионного покрытия для предотвращения потерь воды на фильтрацию (особенно это касается небольших по размеру каналов).

Поэтому такое орошение может приводить к следующим негативным последствиям:

- К чрезмерному забору воды из естественных поверхностных и подземных источников, к большим потерям воды на фильтрацию из оросительных каналов (особенно из небольших) и глубокому просачиванию воды через почвенный профиль на орошаемых участках, а также к поверхностному стоку с них.
- К истощению и загрязнению, прежде всего естественных поверхностных вод (рек, ручьев, озер, эстуариев рек) и ухудшению состояния их водных экосистем, а также, возможно, и к ухудшению здоровья людей из-за загрязнения естественных поверхностных и подземных источников воды остатками пестицидов и удобрений, применяемых на орошаемых сельскохозяйственных землях.
- К повышению уровня грунтовых вод, подтоплению и/или засолению почв, накоплению токсичных веществ в почвах и грунтовых водах. Понижению уровня подземных вод, истощению водоносных горизонтов и даже оседанию поверхности земли, когда подземные воды чрезмерно используются для орошения.
- К постепенной (в течение десятилетий) деградации почв, длительно орошаемых даже пресной водой, к потере их плодородия и снижению урожайности сельскохозяйственных культур.
- К ухудшению состояния окружающей среды водосборов и ухудшению здоровья и благосостояния населения.

Следовательно, необходимо улучшать технику и технологию орошения, принимая во внимание не только потребность растений в воде, но и необходимость сохранения плодородия почвы и защиты окружающей среды.

## Что такое избыточное орошение?

Чтобы прокормить растущее население Земли, необходимо повысить урожайность сельскохозяйственных земель за счет использования высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, защиты растений от болезней и вредителей, а также совершенствования технологии орошения там, где это необходимо, принимая во внимание ограниченную возможность увеличения площади орошаемых земель в мире.

Основной целью орошения является компенсация возможного недостатка воды в корнеобитаемом слое почвы, чтобы высокоурожайные культуры могли бы полностью использовать потенциальную возможность своего развития.

Для этого содержание влаги в активном корнеобитаемом слое почвы (глубиной приблизительно 0,3-0,5 м) должно поддерживаться в диапазоне от допустимого минимума до определенного максимального уровня. Основное потребление воды идет на испарение с листьев растения, или на так называемую транспирацию, которая необходима для поддержания определенной температуры тела растения, а также дыхания, фотосинтеза и транспорта питательных веществ из почвы. Часть почвенной воды испаряется с поверхности почвы между растениями. Максимальное содержание влаги в почве соответствует так называемой предельной полевой емкости (в западной терминологии – это полевая влагоемкость), которая под воздействием капиллярных сил может сохраняться в почве после каждого полива, хотя небольшая ее часть может затем просачиваться вниз по профилю почвы.

В процессе поливов часть воды также может стекать по поверхности орошаемых участков. Минимальный предел допустимого содержания влаги в почве в зависимости от культуры и текстуры почвы составляет примерно 0,6-0,7 от предельной полевой емкости. Интенсивность эвапотранспирации, то есть транспирации вместе с испарением, уменьшается с уменьшением содержания влаги в почве. Уменьшение эвапотранспирации сопровождается определенным снижением интенсивности роста растения и его продуктивности. Невозможность предотвратить снижение влажности почвы обусловлена несовершенством существующей техники орошения. В настоящее время поверхностное самотечное орошение по бороздам, полосам и затоплением применяется на более чем 85% орошаемых земель мира, остальное орошается с помощью дождевания, капельного орошения и микродождеванием. В развивающихся странах самотечное орошение используется на 85-100% всей орошаемой площади. Эффективность использования воды при орошении, оцениваемая по объему воды, используемой для производства единицы массы сельскохозяйственного продукта в развивающихся странах составляет в среднем 3500 м<sup>3</sup>/т для зерновых культур, то есть в 3,5 тысячи раз больше, чем масса самого продукта. Между тем, в развитых странах она составляет 380-1000 м<sup>3</sup>/т (Айдаров, 2012).

Продуктивность сельского хозяйства при традиционном орошении в 20-м веке обычно была ниже потенциальной. Попытка значительно увеличить урожайность была предпринята в 1960-х годах и называлась «Зеленая революция».

Зеленая революция включала три основных компонента:

- Селекция и использование высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур.
- Применение больших доз минеральных удобрений и искусственно созданных химических средств защиты растений в виде различных пестицидов (гербицидов, фунгицидов, инсектицидов и т.д.).
- Орошение. В некоторых регионах без существенного ограничения имеющихся водных ресурсов стало возможным увеличить подачу поливной воды, поддерживать относительно высокую влажность почвы и интенсивность суммарного испарения, близкую к потенциальной. Такое орошение условно можно назвать избыточным.

Зеленая революция широко применялась в развивающихся странах, и ее положительные последствия неоспоримы. С 1960-х до начала 21-го века мировое производство зерновых увеличилось примерно в три раза. Рост населения и увеличение спроса на продовольствие обусловили необходимость расширения площади орошаемых земель. Из-за ограниченной возможности расширения площади, пригодной для орошения, земли, содержащие водорастворимые токсичные соли в почвах и грунтовых водах, также использовались для орошения. Чтобы предотвратить накопление солей в почвах и потерю урожайности, необходимо было увеличить подачу воды на орошение этих земель по сравнению с землями без проблем засоления.

Наряду с положительными последствиями, Зеленая революция привела в некоторых регионах к ряду отрицательных экологических и социально-экономических последствий, включая следующие:

- Сокращение разнообразия сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. Рис, пшеница и кукуруза стали основными. Другие культуры оказались недостаточно эффективными для интенсивных технологий.
- Сокращение биоразнообразия сельскохозяйственных культур привело к интенсивному развитию вредителей и болезней растений и снижению продуктивности орошаемых земель.

Увеличение подачи воды на орошаемые сельскохозяйственные земли, высокие дозы минеральных удобрений и химических веществ для защиты растений привели в некоторых случаях к следующим негативным последствиям:

- К увеличению забора воды из рек или озер, увеличению потерь воды на фильтрацию из сети оросительных каналов, а также на глубинное просачивание воды на орошаемых участках по почвенному профилю в грунтовые воды, а также к росту поверхностного стока с орошаемых участков.
- К повышению уровня грунтовых вод, подтоплению и/или засолению почв, накоплению токсичных веществ в почвах и грунтовых водах.
- К понижению уровня подземных вод, истощению водоносных горизонтов и даже оседанию поверхности земли на территориях, где подземные воды чрезмерно используются для орошения.

- К увеличению стока остатков пестицидов и удобрений с сельскохозяйственных угодий, загрязнению природных, главным образом поверхностных вод (рек, ручьев, озер, лиманов), ухудшению их водных экосистем и здоровья людей.
- К истощению водных ресурсов доступных для использования их человеком на больших территориях.
- К деградации почв, постепенной потере их естественного плодородия (в течение десятилетий) и к снижению продуктивности сельскохозяйственных земель.
- К ухудшению состояния окружающей среды водосборов и благосостояния населения.

Такие побочные негативные последствия чрезмерного орошения относятся, главным образом, к территориям, орошаемым с помощью самотечных поливов по бороздам, полосам и затоплением.

Проанализируем более подробно эти последствия и возможные мероприятия по их предотвращению.

### **Экологические и социально-экономические возможные последствия избыточного орошения**

Орошение в мире потребляет более 80% воды, используемой человечеством. Считается, что вода – это возобновляемый природный ресурс. Действительно, ежегодные осадки пополняют запасы поверхностных и подземных вод. Часть этих запасов ежегодно теряется в атмосферу в процессе эвапотранспирации естественной растительностью, другая часть стекает по поверхности земли в реки, озера, моря. Таким образом сохраняется баланс чистой воды на крупных территориях.

Однако, орошение резко усиливает потерю воды в атмосферу в процессе эвапотранспирации с орошаемых земель и испарения с поверхности построенных водохранилищ. Эта дополнительная потеря воды, как правило, не возвращается на территорию, где она была использована для орошения и потеряна в атмосферу в процессе эвапотранспирации. Она не возвращается даже на территорию крупного водосбора, так как вода в атмосфере транспортируется воздушными массами далеко за пределы водосбора и, возможно даже, за пределы континента. Некоторое количество чистой воды, взятой из природы и использованной на орошение, а также для бытовых, промышленных и других целей, возвращается обратно в окружающую среду, но в виде возвратных вод, загрязненных остатками удобрений, пестицидов, возможно также, токсичных почвенных солей и других токсичных химических и биологических веществ. Поэтому природная чистая вода, используемая для орошения, является только частично возобновляемым и способным к истощению природным ресурсом.

Наибольшую озабоченность вызывает состояние земель, водных ресурсов и экосистем речных бассейнов в Центральной Азии, на Ближнем Востоке и в Северной Африке, где наблюдается прогрессивное засоление и деградация орошаемых земель, и где отбор воды для орошения из рек и озер может вызвать полное истощение водных ресурсов. Это приводит к снижению урожайности основных культур, используемых в технологии Зеленой революции. Ежегодный прирост производства пшеницы снизился с 5% в 1980 году до 2% в 2005 году, а в отношении риса и кукурузы - с 3 до 1% (FAOSTAT, 2019).

Экологические и социально-экономические последствия ирригации зависят от:

- Технологии орошения. Это поверхностное самотечное, дождевание, капельное орошение и др.?
- Типа водораспределительной сети. Это трубчатая сеть или по каналам? Каналы с или без облицовки?
- Качества воды. Это пресная или соленая, или загрязненная сточная вода?
- Источника воды. Это поверхностная или подземная вода?

Наибольшие потери воды происходят при поверхностном самотечном орошении, меньшие при дождевании и намного меньше при капельном способе и микродождевании. Потери воды в распределительной сети меньше, когда каналы имеют облицовку, и намного меньше, когда она построена из труб. Тем не менее, стоимость снижения потерь воды значительно увеличивается с улучшением технологии и качества водораспределительной сети.

Чрезмерная откачка подземных вод может привести к значительному увеличению затрат на откачку и даже к их истощению.

Уменьшение доступных водных ресурсов без значительных инвестиций в повышение эффективности водораспределения и в совершенствование техники и технологии орошения приводит к снижению

продуктивности орошаемых земель и их рентабельности. Ухудшение качества воды может также сопровождаться загрязнением сельскохозяйственной продукции токсичными веществами, содержащимися в поливной воде.

Существуют нормативы качества воды для орошения. Пресная вода является предпочтительной. Подземные воды движутся и пополняются очень медленно по сравнению с поверхностными водами. Поэтому имеющиеся запасы подземных вод могут истощиться быстрее, чем запасы поверхностных вод. Однако поверхностные воды более доступны для забора, но менее защищены от загрязнения по сравнению с подземными водами. Поэтому загрязнение поверхностных вод широко распространено по всему миру. Например, в Мексике 74% поверхностных вод загрязнены в разной степени (CONAGUA, 2017). Из-за нехватки пресной воды некоторые страны используют слабосоленую или очищенную и даже неочищенную муниципальную сточную воду. Сточные воды используются для орошения в Китае, Латинской Америке, на Ближнем Востоке, в Центральной Азии и др.

Проблема чрезмерного использования и истощения водного ресурса, а также ухудшения его качества на больших территориях в пределах водосборов рек или озер, имеет место в разных странах.

Например, река Колорадо, протекающая по территории США и частично в ее нижнем течении по территории Мексики, в начале 20-го века сбрасывала 22 км<sup>3</sup>/год в ее дельту и в Калифорнийский залив (море Кортеса). Кроме того, река несла около 1,23 км<sup>3</sup>/год наносов, что было важно для дельты реки и ее экосистемы. В настоящее время Мексика получает около 2,07 км<sup>3</sup>/год воды, загрязненной химическими и органическими веществами, в частности, селеном, кадмием, свинцом, ртутью, литием, свободноживущими амебами, кишечными палочками коли, пестицидами, в результате смешения с муниципальными, промышленными и сельскохозяйственными сточными водами. Поступающая в Мексику вода используется, в основном, для орошения сельскохозяйственных угодий, а это приводит к загрязнению кормов и некоторых продуктов питания людей. В большинстве лет воды реки Колорадо не достигают залива из-за полного их использования. Это ухудшает экологическое состояние дельты реки и прибрежных акваторий (Cohen *et al.*, 2001; Garcia-Hernandez *et al.*, 2001; Varady *et al.*, 2001; Angulo, 2004; Samaniego-Lopez, 2008; Stockle, 2012).

Река Хуанхэ (Желтая река) в Китае, одна из крупнейших рек в Азии и первая в мире для транспорту взвешенных наносов, загрязнена промышленными и бытовыми стоками, а также агрохимикатами. С 60-х годов 20-го века периодически существенно сокращается ее сток в результате чрезмерного использования воды для орошения и других хозяйственных нужд. Степень снижения стока постепенно увеличивается. В 2000 году площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий, пострадавших из-за нехватки воды, увеличилась более чем в 3 раза по сравнению с 1976 годом. Уменьшение стока реки Хуанхэ оказывает негативное влияние на социально-экономическое развитие регионов, расположенных в основном в средней и нижней части бассейна реки.

Строительство дамб на реке Янцзы в Китае и реке Нил в Египте привело не только к уменьшению их стока из-за испарения с поверхности водохранилищ, но также к прекращению переноса взвешенных отложений в низовья, разрушению дельт рек и сокращению обеспеченности орошаемых земель питательными веществами вместе с наносами. Это заставило фермеров применять высокие дозы минеральных удобрений.

Из-за чрезмерного использования подземных вод для орошения они могут быть истощены. Например, из-за этого Техас в США потерял 14% своих орошаемых земель (Stockle, 2012). В Пенджабе, Индия, уровни водоносных горизонтов снижаются с интенсивностью не менее 1 м/год. В Мексике 20% подземных вод истощены, в некоторых местах глубина их уровня превышает 300 м (CONAGUA, 2017).

Одним из наиболее впечатляющих и изученных примеров экологических и социально-экономических последствий избыточного орошения является бассейн Аральского моря (Рисунок 1).



Рисунок 1. Расположение Аральского моря в Центральной Азии.

### Экологические и социально-экономические последствия избыточного орошения в бассейне Аральского моря

#### *Развитие орошения*

До середины 20-го века Аральское море было четвертым по величине озером в мире. Его длина составляла 426 км, ширина - 284 км. Две крупные реки, Амударья и Сырдарья, с общим годовым стоком около  $100 \text{ км}^3$ , наполняли Аральское море водой и были основным источником воды для орошения в его бассейне. До 1950 года эти реки ежегодно приносили в море около  $60 \text{ км}^3$  высококачественной пресной воды, получаемой в основном из горных ледников.

В настоящее время море практически исчезло. Сток обеих рек полностью используется для орошения, и вода практически не поступает в Аральское море.

Много лет Аральское море использовалось для интенсивного рыболовства. Вокруг этого моря было несколько небольших населенных пунктов, где население традиционно занималось рыболовством и переработкой рыбы. Поймы обеих рек и их обширные дельты с многочисленными небольшими озерами имели особую флору и фауну. Почему исчезло Аральское море?

В бассейне Аральского моря расположено, в основном, пять республик: Узбекистан и части Казахстана, Таджикистана, Кыргызстана и Туркменистана с общей численностью населения (в границах бассейна) около 25 миллионов человек. Среднегодовая температура воздуха в основной орошаемой части бассейна Аральского моря составляет около  $14^\circ\text{C}$ , годовое количество осадков 100-250 мм, а потенциальное суммарное испарение 1200-1400 мм. В соответствии с современной классификацией почвы, в основном, Gypsisols, Calcisols, Phaezems and Anthrosols (Сероземы) (ФАО, 2006).

Орошаемое земледелие имело место в этом бассейне на протяжении веков. Раньше орошаемое земледелие практиковалось, в основном, в районах с богатыми плодородными почвами, глубокими или пресными близко расположенными грунтовыми водами. Крестьяне практически не строили дренаж на орошаемых землях, используя, как правило, эффект естественного дренажа на землях с глубоким уровнем грунтовых вод или эффект субиригации в районах с близкими пресными грунтовыми водами. Орошаемые земли располагались, главным образом, в речных долинах, дельтах и предгорьях.

В начале 20-го века объем воды нетто, доставляемой на обрабатываемую площадь, был довольно небольшим, около  $3000-5000 \text{ м}^3/\text{га}$  в год. Орошаемые участки были небольшими, хорошо выровненными, применялось, в основном, орошение по тупым бороздам, то есть, поверхностный сток возвратных вод практически был исключен. Оросительные системы в то время имели высокий уровень организации и обеспечивали не только эффективное использование воды, но и сохранение экологического равновесия территорий. Оросительные каналы в долинах рек были глубиной 1-1,5 м и поэтому одновременно служили ирригационно-дренажной сетью. Оросительная вода подавалась на

участки с использованием примитивных водоподъемных устройств. Эффективность использования воды составляла почти 100%, то есть 100% воды, взятой из природных источников, было использовано для суммарного испарения. Засоленность орошаемых земель исключалась. Основными поливными культурами были зерновые и люцерна. Они занимали более половины всей орошаемой площади в бассейне Аральского моря. Хлопок занимал менее 20-30%, а рис - не более 5-15% орошаемой площади. В те времена минерализация речных вод составляла около 0,1–0,2 г/л в верховьях и около 0,4 г/л в низовьях рек вблизи Аральского моря.

В течение 20-го века население бассейна Аральского моря удвоилось. В начале века там жило около 12 миллионов человек, сейчас - 25 миллионов. Орошение развивалось интенсивно, площадь орошаемых земель почти утроилась с 2-3 млн. га в начале 20-го века до 7 млн. га в конце его. В середине 20-го века, в связи с передачей права собственности на землю от частного к государственному или коллективному, произошли следующие изменения в орошаемом земледелии (Якубова, 1977; Волинов и др., 1980; Самойленко и др., 1987; Micklin, 2007; Зонн и Гланц, 2008; Айдаров, 2010; Айдаров, 2012):

- Чувство частной собственности на землю и желание получить личную прибыль от орошаемого земледелия были утеряны.

- Крупные оросительные системы площадью в сотни тысяч гектаров были построены в основном в степной и пустынной частях бассейна Аральского моря, вдали от русел рек, где уровень грунтовых вод изначально был глубоким (глубже 30-50 м от поверхности почвы). В 1960-1980х годах на водосборах рек Амударья и Сырдарья было построено много плотин, чтобы увеличить доступные для орошения запасы воды.

- Общая орошаемая площадь к концу 20-го века увеличилась более чем в 2,5 раза по сравнению с началом века и достигла 7,9 млн.га. Ирригация развивалась главным образом посредством строительства новых оросительных систем и в меньшей степени путем реконструкции старых.

- Размер орошаемых участков был увеличен с долей гектара до нескольких десятков гектаров.

- Хлопок стал основной культурой для увеличения производства хлопка-сырца, удовлетворения внутренних потребностей, прекращения его импорта, достижения хлопковой независимости и продажи хлопка за границу для получения твердой валюты. Площадь хлопка в севооборотах до 1940х годов не превышала 10-30%, а затем была увеличена до 70-80%. С 1950х годов хлопок занимал 70-80% всей орошаемой площади бассейна Аральского моря. Процент площади люцерны в севооборотах, соответственно, уменьшился. Площадь, занятая рисом, значительно увеличилась с 1970х годов, главным образом, в дельтах обеих рек. В начале века рис занимал 0,2-0,4 млн. га, а после 1980х годов он занимал около 0,7 млн. га.

- Объем воды, поступающей на орошаемые земли, увеличился более чем в 1,5 раза. Значительно возросло применение минеральных удобрений и различных пестицидов.

- Около 50% оросительной воды, взятой из рек, ежегодно терялось из-за фильтрационных потерь в сети оросительных каналов и глубокого просачивания через почвенный профиль на орошаемых участках. Потеря воды вызвала повышение уровня грунтовых вод, засоление почвы и даже подтопление.

- Для предотвращения засоления почв и подтопления сельскохозяйственный дренаж строился в больших масштабах с 1940х, но медленнее, чем строительство новых оросительных систем. Между тем оросительная норма постепенно увеличивалась для удаления солей из почвы. В конце 20-го века около 60% орошаемых земель имели дренаж. В некоторых районах это закрытый трубчатый дренаж, а в других – открытый в виде дренажных каналов. Дренаж ускорил отток и понизил уровень грунтовых вод. Однако этот дренаж вместе с водой удалял токсичные почвенные соли, а также часть удобрений и пестицидов, применяемых в сельском хозяйстве.

Необходимость строительства дренажа не была очевидна в самом начале, когда было замечено опасное повышение уровня грунтовых вод в степных и пустынных районах. В первые годы предпринимались попытки предотвратить повышение уровня грунтовых вод за счет уменьшения оросительных и поливных норм, реконструкции оросительных каналов и снижения потерь воды на

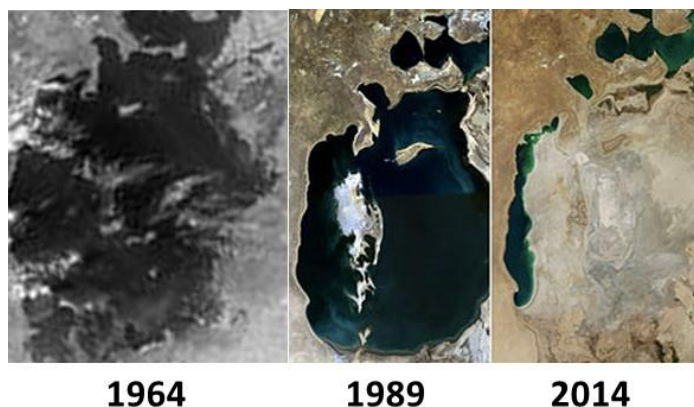
просачивание из оросительных каналов и глубинное просачивание на орошаемых участках. Поскольку орошаемые площади постепенно расширялись, эти подходы оказались недостаточными и началось массовое строительство дренажа. Сначала строился довольно неглубокий дренаж (глубиной 1,5-2 м). Однако практика показала, что глубокий дренаж (с глубиной 2,5-3 м), который мог бы поддерживать уровень грунтовых вод на глубине не менее 2 м, был бы предпочтительным. Чем выше уровень грунтовых вод, тем больше воды для орошения необходимо использовать для предотвращения засоления почвы. Дренаж с глубиной 2,5-3 м строился в основном с 1960-х годов.

- В конце 20-го века, по оценкам, общий коллекторно-дренажный сток достигал около 45% от водозабора из рек. Половина этого количества вернулась в реки и затем основная часть была вновь использована оросительными системами, расположенными ниже по течению рек, около 20% сброшено в Аральское море, около 30% сброшено в сухие земли (некоторая часть была накоплена в искусственных озерах в понижениях местности). Более поздний анализ экспериментальных данных в бассейне Аральского моря показал, что практически единственный способ сэкономить воду и в то же время предотвратить засоление почвы при одном и том же виде сельскохозяйственного использования земли - это поддерживать уровень грунтовых вод на максимально возможной глубине (не менее 2,0-2,5 м) и использовать для полива пресную воды хорошего качества (Аверьянов, 2015; Айдаров и др., 1990). Этот подход также помогает предотвратить загрязнение грунтовых вод. Согласно рекомендациям ФАО (1980), для предотвращения засоления почвы необходимо поддерживать уровень грунтовых вод на глубине не менее 1,5-1,7 м и строить дренажи на глубине около 2-2,5 м.

#### *Экологические и социально-экономические последствия орошения*

В результате роста площади орошаемых земель и роста потребления воды, речной сток полностью был использован к концу 20-го века. Общее потребление воды на орошение составляло около 10-15 км<sup>3</sup>/год с 1900 года до 1930х годов, 40 км<sup>3</sup>/год в 1960х годах и более 85 км<sup>3</sup>/год с 1985 года (Решеткина, 1991). Около 6-7 км<sup>3</sup>/год речного стока терялось с 1985 года в результате испарения из водохранилищ на реках, дополнительных потерь в размере около 10-20 км<sup>3</sup>/год на фильтрацию из сетей оросительных каналов и из-за сброса неиспользованной воды (в основном дренажной) в понижения местности. В пределах бассейна дренажные воды удалялись с орошаемых земель, в основном, в реки. Вниз по течению речные воды, смешанные с дренажными водами, повторно использовались для орошения и для бытовых целей.

Общий речной сток в Аральское море начал значительно уменьшаться в 1950х годах, особенно с 1960х по 1980е годы. Он сократился с 60 км<sup>3</sup>/год (до 1940 года) до 10-15 км<sup>3</sup>/год в конце 1970х годов. К 1985 году реки прекратили свой сток в Аральское море. Из-за сокращения, а затем и прекращения речного стока в низовьях рек, уровень Аральского моря начал снижаться с ускорением с 1950х годов. В конце 20 века море практически исчезло (рис. 2).



**Рисунок 2. Спутниковые снимки Аральского моря с 1960х годов  
(доступно на сайте: <http://regnum.ru/news/2470294.html>)**

На бывшем морском дне сформировалась высохшая соленая поверхность площадью около 68 тыс. км<sup>2</sup> с содержанием солей около 100-300 т/га в верхнем слое глубиной 1 м. Соленая пыль переносится

ветром с этой поверхности каждый год на расстояние более 300 км от моря. Соленая пыль уносится ветром с этой поверхности каждый год на расстояние более 300 км от моря. Около 1 тонны морских донных солей ежегодно выпадает на каждый гектар дельт рек. Соленые пыльные облака поднимаются очень высоко и даже достигают ледников в горах, ускоряя их таяние. В прибрежной зоне Аральского моря появились соленые дожди с концентрацией соли до 160 мг/л (Разаков, 1990).

С 1980-х годов рыба исчезла из моря, рыбоперерабатывающее производство было разрушено. Все рыбацкие деревни и рыболовные судна находятся далеко от моря (Рисунок 3). Бывшее население побережья потеряло работу. Прекратилось ежегодное затопление пойм в нижнем течении обеих рек. Из-за этого происходит деградация богатых аллювиальных почв. Уровень воды в дельтах рек понизился, и процессы почвообразования изменились с гидроморфных и полугидроморфных на автоморфные. Происходит опустынивание дельт рек. Многочисленные озера с пресной водой (некоторые из них использовались ранее для рыболовства) высохли. Появились озера с токсичной водой. Природные пастбища для домашних и диких животных исчезли. Исчезла эндемичная флора и фауна в прибрежной зоне бывшего Аральского моря. Амплитуда годового колебания температуры воздуха поднялась на 2-3 °С на расстояние до 100 км от бывшего моря.



**Рисунок 3. Вид Аральского моря в середине и конце 20го века  
(доступно на сайтах: <https://rg.ru/2014/01/19/aralskove-more-site.html> и  
<http://imgtube.ru/images/stories/2013/06/024-aral/aral3.jpg>**

Минерализация речных вод росла на протяжении многих лет из-за огромного сброса дренажных вод и их повторного использования. Качество речной воды ухудшалось, особенно в низовьях. Наиболее резкое увеличение минерализации речной воды произошло в 1970-х и 1980-х годах. Вместе с почвенными солями речная вода транспортировала токсичные агрохимикаты (различные пестициды, нитраты и т.д.). В речные воды ежегодно поступало около 0,3–0,5 кг пестицидов (в основном в хлорорганических формах) и около 50 кг азота с каждого гектара хлопковых полей (Якубова, 1977; Самойленко и др., 1987). Поскольку речной сток сократился, а качество воды ухудшилось, проблема распределения воды для орошения между государствами в бассейне увеличилась. Республики, расположенные в верховьях бассейна, использовали воду лучшего качества, чем расположенные вниз по течению.

Несмотря на строительство дренажа и рост водоподачи на орошаемые участки, засоленность почв постепенно увеличивалась. Это стало заметно особенно в районах ниже по течению рек. Например, в конце 1980х годов умеренно и сильно засоленные почвы занимали 30-40% и 60-70% орошаемых земель, расположенных соответственно в верховьях рек (Таджикистан и Киргизстан) и низовьях (Узбекистан, Туркменистан и Казахстан). В районах, близких к Аральскому морю, засоленность почвы возникла на 70-90% орошаемых земель (Решеткина, 1991; Айдаров и др., 2010). В результате этого урожай хлопка во всем бассейне Аральского моря начал снижаться.

Чтобы увеличить урожайность хлопка, фермеры использовали все больше воды, удобрений и пестицидов. Кроме того, строился новый дренаж и реконструировались ирригационные системы, однако с недостаточной интенсивностью. В период с 1940х по 1980е годы объем водоподачи на орошаемые участки увеличился с 5000-6000 м<sup>3</sup>/га до 12000-15000 м<sup>3</sup>/га, а ежегодные дозы



минеральных удобрений (NPK) увеличились с 50-100 кг/га до 300-500 кг/га. В 1980х годах количество азота, применяемого на хлопковых полях, выросло до 250 кг/га (по сравнению с дозой для зерновых равной 50 кг/га), а количество пестицидов увеличилось до 20-40 кг/га в год (Самойленко и др., 1987). Тем не менее, с 1970х годов урожай хлопка начал постепенно снижаться. Возникла проблема загрязнения орошаемых почв пестицидами. С 1980х годов более 75% всей орошаемой площади бассейна имели высокий уровень загрязнения почв пестицидами, 40-50% орошаемых земель имели очень высокую концентрацию пестицидов в почвах, превышающую допустимые уровни в 3-17 раз (Якубова, 1977). Загрязнение поверхностных и грунтовых вод усилилось в средней части и еще более сильно в нижней части бассейна Аральского моря. Было замечено, что в нижней части бассейна концентрация пестицидов в мясе домашних животных превышало допустимый уровень в 8 раз, а в овощах - в 16 раз (Якубова, 1977; Безуглый и др., 1987; Нестеров, 1990).

Число серьезных заболеваний, таких как вирусный гепатит, брюшной тиф, рак пищевода и т.д., увеличилось в 5-30 раз в 1960х-1980х годах в нижней части бассейна. Младенческая смертность там удвоилась. Чрезвычайно серьезные проблемы со здоровьем возникли в Каракалпакской Автономной Республике Узбекистана, которая находится в прибрежной зоне Аральского моря. С 1980х годов заболеваемость желчекаменной болезнью и раком пищевода выросла в 8-10 раз, сердечная и почечная заболеваемость выросла примерно в 2 раза. Соленость материнского молока превышала допустимый уровень в 3-4 раза (Безуглый и др., 1987; Нестеров, 1990). В районах, близких к бывшему Аральскому морю, возник ряд респираторных заболеваний из-за выдувания соли и пыли с высохшего морского дна.

Основными причинами экологического кризиса, по-видимому, являются следующие:

- (а) Чрезмерный рост орошаемой площади.
- (б) Неэффективное водопользование.
- (в) Загрязнение речных вод и их использование для орошения и бытовых нужд населения.
- (г) Плохие санитарные условия жизни человека.

Например, в Узбекистане (где проживает более 60% всего населения бассейна Аральского моря, и который занимает основную часть его территории) 70% больниц не имели трубчатых систем канализации, а 80% из них не имели горячей воды (Безуглый и др., 1987).

Рост площади орошения и неэффективное водопользование привели к необходимости строительства дренажа и отведения огромного количества сельскохозяйственных дренажных вод. Раньше предполагалось, что дренаж предотвратит не только засоление почвы и подтопление, но также приведет к рассолению грунтовых вод. Таким образом, пресные грунтовые воды могли бы частично использоваться для субиригации. Предполагалось также, что повторное использование для орошения дренажных вод, смешанных с речными водами, увеличило бы эффективное использование ограниченных водных ресурсов. Однако оказалось, что концентрация солей в дренажных водах не сильно изменилась. Загрязненные речные воды и водоносные горизонты использовались не только для орошения, но и для бытовых нужд. Это привело к росту числа тяжелых заболеваний среди населения. Подъем соленых грунтовых вод на орошаемых землях привел к необходимости увеличения оросительных норм для предотвращения засоления почвы, несмотря на строящийся дренаж. Наряду с низкой эффективностью оросительных систем, плохим контролем водопользования и ростом площади орошаемых земель, произошло истощение водных ресурсов, исчезновение Аральского моря, рост площади засоления сельскохозяйственных земель и некоторые другие негативные последствия.

#### *Основные пути снижения побочных эффектов избыточного орошения*

Масса предложений по решению проблемы бассейна Аральского моря было сделано большим числом специалистов из различных стран. Вот некоторые из них:

- (а) Необходимо очистить питьевую воду, чтобы снизить частоту заболеваний людей в районах, расположенных в низовьях рек Амударьи и Сырдарьи.

(б) Необходимо уменьшить потери воды на фильтрацию из оросительных каналов и на глубокое просачивание по почвенному профилю и строго контролировать потребление воды в сельском хозяйстве.

(б) Необходимо снизить потребление воды, сделав следующее:

- уменьшить площади орошения (прежде всего на землях с низкой продуктивностью и с определенными трудностями мелиорации земель);
- создавать предприятия с меньшим водопотреблением для трудоустройства людей и экономии воды;
- уменьшить площадь выращивания хлопка;
- выращивать сельскохозяйственные культуры с меньшим водопотреблением;
- шаг за шагом улучшать технику и технологию орошения, заменив поливы по бороздам и полосам на более совершенные методы (на дождевание, капельное орошение, микродождевание и т.д.), при которых вода используется с большей эффективностью и с меньшей потерями на глубокое просачивание на полях. Изменение технологии орошения приведет к необходимости реконструкции дренажа. Реконструкция сетей оросительных каналов, технологии их управления, техники и технологии орошения, а также дренажных сетей должна уменьшить коллекторно-дренажный сток.

(в) Коллекторно-дренажные воды не следует смешивать с речной водой. Они должны быть направлены в Аральское море или в естественные впадины.

(г) Аральское море не может быть восстановлено. Однако для экономии воды необходимо ежегодно снабжать его 20-30 км<sup>3</sup> воды, включая дренажные воды в качестве основного компонента. Необходимо использовать специальные методы (например, каскад земляных плотин и участки между ними, периодически затопляемые поступающими водами), чтобы предотвратить вынос ветрами песка, пыли и соли с высохшего дна моря. Опыт Казахстана показал, что за счет строительства земляных плотин и затопления огороженных территорий можно постепенно улучшать состояние определенных участков моря. Казахстанский опыт показал, что за счет строительства дамб и отгороженных территорий можно постепенно улучшить состояние отдельных участков моря.

#### Деградация почв в результате избыточного орошения

Орошение увеличивает продуктивность сельскохозяйственных земель и неизбежно влияет на свойства почвы. Орошение может увеличить плодородие почвы, но также может снизить его. Процесс изменения свойств почвы, как правило, довольно медленный, измеряется в течение нескольких и даже десятков лет (Arnold *et al.*, 1990; Schlesinger and Bernhardt, 2013). Известно, что сельскохозяйственная деятельность изменяет естественные процессы почвообразования и влияет на плодородие почвы. Орошение усиливает процессы почвообразования, но также вызывает выщелачивание химических элементов из почвы. Степень влияния орошения на почву связано с типом землепользования, применяемой практикой агротехнического обслуживания посевов сельскохозяйственных культур, а также с технологией орошения и качеством оросительной воды. При использовании на орошение воды хорошего качества и отсутствии проблем засоления, осолонцевания или загрязнения почв и отсутствия эрозии почв, как правило, ожидается постепенное увеличение или, по крайней мере, сохранение их плодородия (Hagan *et al.* 1987; Molden, 2007). Тем не менее, есть публикации, указывающие, что длительное чрезмерное орошение пресной воды в различных климатических условиях может привести к постепенному ухудшению основных свойств орошаемых почв и снижению их плодородия, даже если не наблюдается ни эрозии их, ни засоления, ни загрязнения. Это происходит из-за вымывания органического вещества (в русскоязычной литературе вместо термина «органическое вещество» используется термин «гумус») и ряда полезных обменных катионов в глубокие слои почвенного профиля ниже корнеобитаемой зоны.

Традиционно, режимы орошения и оросительные нормы определяются в зависимости от потребностей сельскохозяйственных культур в воде, особенностей их развития, применяемой агротехники, гидрофизических свойств почв и наличия и качества водных ресурсов.

Положительное влияние орошения на плодородие почв связано с увеличением их влажности, интенсификацией микробиологической и макробиологической активности, накоплением органического вещества (ОМ), увеличением емкости катионного обмена (СЕС) и повышением эффективности использования органических и минеральных удобрений (Айдаров, 1985; Baldock *et*

*al.*, 2000; Oriola, 2003; Schjonning *et al.*, 2004; Айдаров и Никольский-Гаврилов, 2016). Следует отметить, что *ОМ* является основным фактором естественного плодородия почв.

Негативное воздействие орошения на почву обычно связано с ее водной эрозией, использованием воды плохого качества (с высокой минерализацией или плохого химического состава, а также очищенных или неочищенных сточных вод), с засолением или осолонцеванием почвы. Существуют различные рекомендации по снижению риска загрязнения почв и растений, предотвращения засоления и осолонцевания почв и возможного снижения продуктивности орошаемых земель (Айдаров, 1985; Alguacil del Mar *et al.*, 2012; Artigao *et al.*, 2002; Skaggs and van Shilfgaarde, 1999).

Исследования по влиянию многолетнего орошения водой хорошего качества на плодородие почв, к сожалению, немногочисленные и неоднородные по целям и методам, проводились в Северной и Южной Америке, Европе, России, Юго-Восточной Азии (в основном в Китае и Индии), Израиле, Северной Африке, Австралии, Новой Зеландии, но не носили системного характера и не были обобщены.

Например, исследования, проведенные в Калифорнии и Аризоне, США, в аридном и полуаридном климате, показали, что традиционное поверхностное самотечное орошение пресной водой хорошего качества супесчаных и суглинистых известковых почв в течение 90 лет привело к снижению их плодородия. В частности, было отмечено снижение содержания органического углерода (*ОС*), как основного компонента *ОМ*, на 56-62% в слое почвы 0-30 см по сравнению с неорошаемыми почвами в результате вымывания *ОС* в глубокие слои почвенного профиля (Eshel *et al.*, 2007; Artiola and Walworth, 2009). Почва была слабощелочной с  $pH = 7-8$ . Вода для полива была хорошего качества с общим содержанием растворенных веществ (*TDS*) 0,1 - 0,6 г/л и с электропроводностью (*ЕС*) 0,2 - 1 ds/m (децисименс на метр). Было также отмечено, что наибольшее снижение *ОС* и *ОМ* соответствует орошению водой с *TDS* менее 0,2 г/л или *ЕС* менее 0,3 ds/m по сравнению с водой большей минерализации. Присутствие ионов натрия (*Na*) значительно увеличило выщелачивание *ОС* и *ОМ*. Степень выщелачивания *ОС* и *ОМ* сильно коррелирует с растворимостью карбонатов почвы. Небольшое увеличение содержания ила (до 5%) также наблюдалось при длительном избыточном орошении пресной водой.

Getahun *et al.* (2011) изучал влияние орошения пресными водами в течение 20-30 лет на супесчаных, суглинистых и глинистых почвах Эфиопии. Эти почвы сформированы в условиях полугумидного и гумидного климатов со среднегодовой суммой осадков 850-2000 мм и сравнительно интенсивного просачивания воды в глубокие слои почвенного профиля. В слое 0-20 см почв  $pH = 5-7$ , *СЕС* = 30-50 смоль(+)/кг. Поливная вода имела *TDS* = 0,1-0,7 г/л и *ЕС* = 0,2-0,9 ds/m. Орошение и усиленное промывание почв оказало различное на них влияние в зависимости от их текстуры и минерализации поливной воды. В супесчаных и суглинистых почвах многолетнее орошение привело к уменьшению содержания *ОМ* в 1.2-1.5 раз. В глинистых почвах орошение привело к увеличению *ОМ* в 1,-2 раза. Содержание доступной растениям формы фосфора (*P*), обменного магния (*Mg*) и плотность почвы увеличились на всех участках. Содержание обменного кальция (*Ca*) и *СЕС* заметно уменьшились на участках, где *ЕС* поливной воды было меньше 0,3 ds/m и слегка увеличилось, где *ЕС* = 0,9 ds/m. Не отмечено заметное изменение  $pH$  почвы на всех участках.

В Новой Зеландии установлено, что в районах с полугумидным и гумидным субтропическим климатом со среднегодовыми осадками 600-1600 мм даже капельное орошение садов дождевой водой в течение 18 лет привело к снижению содержания *ОС* в слое 0-15 см песчаных почв с 5,4 до 5,1 г/кг и *СЕС* с 3.8 до 2.9 смоль(+)/кг (Siggins *et al.*, 2016).

В Индии в районе полугумидного тропического климата с осадками 1100 мм/год самотечное орошение овощей пресной речной водой на супесчаных почвах в течение 15 лет привело к снижению содержания *ОС* в слое 0-22.5 см с 6.6 до 5.0 г/кг и *СЕС* с 21.2 до 16.0 смоль(+)/кг (Ghosh, Bhatt, Agrawal, 2011).

В степной зоне России с годовым количеством осадков 300-650 мм также изучалось влияние многолетнего орошения пресной водой самотечным способом и дождеванием на черноземные и каштановые почвы. Вода для орошения имела общую минерализацию *TDS* = 0,4-0,7 г/л и *ЕС* = 0,3-0,4 ds/m (Айдаров, 1985; Айдаров и др., 2012). Результаты показали, что орошение черноземных и

каштановых почв пресной водой в течение 20 лет ухудшило плодородие почв. Изменения свойств черноземов и каштановых почв в слое 0-20 см были следующими:

- Снижение содержания *OM* с приблизительно 6,7 и 2,7 до 5,9 и 2,3% в черноземах и каштановых почвах, соответственно;
- Увеличение содержания фульвокислот, как легко растворимого и выщелачиваемого компонента *OM*; соотношение между относительно малоподвижными гуминовыми кислотами (*HA*) и фульвокислотами (*FA*) уменьшилось с 1,0 и 1,2 до 0,6 и 0,8 соответственно;
- Снижение *СЕС*, накопление *Na*, *Mg* и снижение *Ca*;
- Снижение содержания доступных растениям элементов минерального питания;
- Увеличение плотности почвы.

Увеличение годовой оросительной нормы привело к более интенсивному глубокому просачиванию воды по профилю почвы с 0,14-0,17 до 0,30-0,40 от среднегодовой водоподачи (оросительная норма *Ir* плюс осадки *Pr*) и к следующим последствиям через 20 лет:

- Вымывание *OM* в глубокие слои почвы увеличилось с 5-10% до 30-40% от его исходного содержания;
- *СЕС* снизился на 2-5% и 15-20% соответственно по сравнению с его значением до орошения;
- Содержание *Na* и *Mg* в *СЕС* увеличилось в два раза; *Ca* уменьшился в 1,5 раза.

Специальные полевые эксперименты по выяснению влияния оросительной нормы на вымывание *OC* в супесчаных почвах, классифицируемых как кварцевый неозол (*Diogenes et al.*, 2017), были проведены в Бразилии. Основные свойства почвы в слое 0-20 см были следующими: *OM* = 0,37%, *СЕС* = 3,19 смоль (+) кг-1; *pH* = 5; поглощенные основания (в процентах от их общего количества): *Ca* = 18%, *Mg* = 12%, *Na* = 1%, *K* = 4%. Климат полусухой со среднегодовым количеством осадков *Pr* = 900 мм. Орошение проводилось в сухой период года нормой (*Ir*) 108, 215, 288 и 426 мм на разных участках, что соответствовало пропорционально 0,3, 0,6, 0,9 и 1,2 от потенциальной эвапотранспирации. Сельскохозяйственная культура – вигна или коровий горох (*Vigna sinensis* Edl.). Результаты показали, что ежегодное внесение каждого 1 мм поливной воды в этих условиях приводило к накоплению *OC* около 8 кг га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> за счет растительных остатков. По мере увеличения нормы орошения усиливалось ежегодное разложение и вымывание *OM*, несмотря на рост биомассы растительных остатков. По мере увеличения нормы орошения интенсивность вымывания *OC* постепенно увеличивалась примерно до 23% от его первоначального содержания. В целом баланс *OC* был положительным: конечное содержание *OC* было больше, чем в начале для всех норм орошения, за исключением вариантов, когда норма орошения была равна или превышала потенциальную эвапотранспирацию.

Влияние многолетнего орошения пресными водами на плодородие почв в различных климатических зонах оценивалось также в Мексике путем статистического сравнения региональных свойств почв, орошаемых в течение более 50 лет, и неорошаемых целинных почв. Орошаемые и неорошаемые почвы расположены на ровных, геоморфологически однородных территориях с уклоном поверхности менее 1%. Грунтовые воды расположены достаточно глубоко, глубже 5 метров. Основной техникой орошения является самотечное поверхностное. Оно применяется на более чем 85% общей площади орошаемых земель. Основным источником орошения являются поверхностные воды из водохранилищ, расположенных в горных районах. Эти водохранилища обеспечивают водой более 80% всей орошаемой площади страны. Типичное качество поверхностных вод хорошее.

Среднегодовые климатические условия характеризуются отношением значений потенциальной эвапотранспирации (*ET*) к слою осадков (*Pr*). В тропической гумидной зоне отношение *ET/Pr* приблизительно менее 0,7; в полугумидной и полуаридной зонах соотношение *ET/Pr* изменяется от 0,7 до 1,0 и от 1,0 до 3,0 соответственно; в аридной зоне *ET/Pr* более 3,0.

Сравниваемые орошаемые и неорошаемые земли не имеют проблем ни с водной или ветровой эрозией, ни с засолением, ни с осолонцеванием почв. Сравнивалось плодородие орошаемых и неорошаемых целинных почв во гумидной тропической, полугумидной, полуаридной и аридной зонах Мексики (Никольский и др., 2019).

Почвы, в основном, представляют собой Файоземы в полуаридных и полугумидных регионах центральной части страны, Ксеросоли (или Кальцисоли) и Рендзины (Лептосоли), Кастаноземы в

аридных и полуаридных регионах центральной и северной части, и Лювисоли и Вертисоли (FAO, 2015) в регионах с умеренным и тропическим гумидным климатом в центральной и юго-восточной части. Мощность почвенного покрова обычно превышает 1,5 м, все почвы имеют хороший сельскохозяйственный потенциал, высокую насыщенность обменными основаниями и наличие стабильных агрегатов. В Рендзинах преобладают катионы кальция в поглощающем комплексе. Вертисоли – это глинистые почвы, которые характеризуются набуханием и усадкой, при ежегодном увлажнении и высыхании почвы, в результате чего образуются трещины в почвенном профиле. Проблемы засоления или осолонцевания почв на анализируемых территориях нет; также нет проблемы эрозии почв.

Исследования в Мексике показали следующее (SEMARNAT-CP, 2002; Ortiz-Solorio, 2011; Никольский и др., 2019):

1. Многолетнее избыточное орошение пресной водой может привести к снижению плодородия почв в различных климатических условиях из-за вымывания органического вещества в глубокие слои почвенного профиля. Такой эффект характерен для почв с относительно высокой влагопроводностью: в основном, для почв песчаных, супесчаных и суглинистых. Потеря плодородия почв в Мексике происходит примерно на  $1,6 \cdot 10^6$  га или на 20% орошаемых земель.

2. Наблюдаемый эффект снижения плодородия почв при длительном чрезмерном поливе пресной воды характерен для почв с относительно высокой проницаемостью, и в основном с песчаной, супесчаной и суглинистой текстурой.

Можно предположить, что для сохранения плодородия почвы необходимо снизить интенсивность глубокого просачивания воды по профилю почвы на орошаемых землях. Это может быть достигнуто путем улучшения техники и технологии орошения. Во влажных тропических условиях, где также отмечается отрицательное действие орошения на плодородие почвы, целесообразно увеличить поверхностный сток дождевых вод путем применения поверхностного дренажа, выравнивания поверхности сельскохозяйственных земель и других мер.

3. Содержание органического вещества (*ОМ*) в орошаемых почвах после более чем 50-летнего орошения значительно меньше, чем в неорошаемых почвах в полуаридных и полугумидных климатических зонах Мексики, где отношение *ET/Pr* составляет, соответственно, примерно 0,7 и 2,0. Наиболее значительная потеря *ОМ* наблюдается в полугумидной зоне, где отношение *ET/Pr* составляет от 0,7 до 1,0. Потеря *ОМ* наблюдается также тропической гумидной зоне, но в меньшей степени, чем в полугумидной и полуаридной климатических зонах. Основной причиной потери органического вещества и плодородия почв при длительном чрезмерном орошении пресной воды является изменение исторических условий почвообразования. Увеличение содержания влаги в почве порождает ряд взаимосвязанных почвенных процессов, включая интенсификацию микробиологической активности, повышение растворимости и подвижности органических соединений, увеличение интенсивности глубокого просачивания поливных и дождевых вод по почвенному профилю ниже корневой зоны, вымывание минеральных и органических веществ и т. д. Наиболее интенсивное ежегодное просачивание воды по почвенному профилю происходит на орошаемых участках в полугумидных и гумидных условиях, где просачивание поливной воды добавляется к естественному ежегодному просачиванию дождевой воды. Во влажной тропической зоне орошение применяется в сухое время года. Поэтому вклад орошения в изменение среднегодовой интенсивности естественного просачивания дождевой воды значительно меньше, чем в полугумидной зоне. В полуаридной и аридной зонах вероятность совпадения орошения и осадков меньше, чем в полугумидных условиях. Поэтому среднегодовая интенсивность глубокого просачивания воды по почвенному профилю там меньше, чем в полугумидных условиях. Количество органического вещества, вымываемого из верхнего слоя почвы в глубокие слои, пропорционально интенсивности глубокого просачивания воды и содержанию органического вещества в верхнем слое почвы. Применение повышенных доз минеральных удобрений в орошаемых почвах снижает *pH* почв и часто усиливает вымывание *ОМ* (Black, 1968; Schlesinger and Bernhardt, 2013; Strawn *et al.*, 2015).

Учитывая, что *ОМ* является основным компонентом плодородия почв, от которого зависит продуктивность орошаемых земель, можно сделать вывод, что чрезмерное орошение наиболее заметно влияет на плодородие почв в полугумидных и полуаридных условиях.

В аридной зоне содержание *ОМ* в орошаемых почвах примерно вдвое больше, чем в неорошаемых. Это можно объяснить тем, что в годовом балансе органического вещества орошаемых почв в этой

зоне по сравнению с другими количество новообразованной органической массы превышает ее уменьшение в результате минерализации и вымывания в глубокие слои почвенного профиля.

Важно отметить, что процесс деградации почвы при многолетнем чрезмерном орошении пресной воды происходит как в развивающихся, так и в развитых странах. Термин «чрезмерное орошение» связан, главным образом, с несовершенной техникой и технологией полива и, следовательно, с чрезмерным использованием воды. Непосредственной причиной деградации орошаемых почв является нарушение естественных биохимических процессов. Известно, что биологическая продуктивность сельскохозяйственных растений и их потребление почвенных питательных веществ значительно выше, чем у естественных растений. Однако до 80% биомассы сельскохозяйственных растений удаляется с поля вместе с урожаем. Поэтому отрицательный баланс органического вещества формируется даже при богарном земледелии. Орошение усиливает вымывание органического вещества и элементов минерального питания из почвы. Для естественных растительных сообществ характерно равновесие или даже небольшой избыток растительных остатков, поступающих в почву, по сравнению с их разложением и удалением. Недооценка проблемы возможной деградации орошаемых почв, по-видимому, объясняется тем, что процессы деградации протекают медленно в течение десятилетий. Поэтому мало внимания уделяется этой проблеме. Между тем, необходимо учитывать, что почва является исчерпаемым природным ресурсом, который в масштабе жизни одного поколения практически не возобновляется.

### **Заключение**

1. Во всем мире на орошение расходуется более 80% общего потребления воды человеком. Считается, что вода является возобновляемым природным ресурсом. Действительно, годовые осадки пополняют запасы поверхностных и подземных вод. Тем не менее, орошение значительно увеличивает потери воды в атмосферу при испарении с орошаемых земель и построенных водохранилищ. Кроме того, часть пресной воды, отобранной у природы и используемой для орошения, возвращается в окружающую среду в виде сточных вод, загрязненных остатками удобрений, пестицидов, возможно, также токсичных солей почвы. Поэтому природная пресная вода, используемая для сельскохозяйственного орошения, является лишь частично возобновляемым и истощаемым природным ресурсом.

2. Избыточное орошение относится, главным образом, к поверхностному самотечному орошению по бороздам, полосам и затоплением, которое является наиболее распространенным в мире, особенно в регионах без существенного ограничения имеющихся водных ресурсов. Такое орошение характеризуется несовершенством техники и технологии полива и часто сопровождается несовершенным состоянием сети распределительных каналов, когда они не имеют противофильтрационной одежды для предотвращения потерь воды.

3. Чрезмерное орошение может привести к следующим негативным последствиям:

- К чрезмерному водозабору из природных источников поверхностных и подземных вод, большим потерям воды в результате фильтрации из оросительных каналов (особенно из небольших), глубокого просачивания воды по профилю почвы и поверхностного стока на орошаемых землях.

- К истощению и загрязнению естественных поверхностных вод (рек, ручьев, озер, эстуариев) и ухудшению их экосистем, а также, возможно, здоровья людей из-за стока остатков пестицидов и удобрений с орошаемых сельскохозяйственных земель.

- К повышению уровня грунтовых вод, подтоплению и/или засолению почв, накоплению токсичных веществ в почвах и грунтовых водах. К понижению уровня подземных вод, истощению водоносных горизонтов и даже оседанию поверхности земли, когда подземные воды чрезмерно используются для орошения.

- К постепенной (в течение десятилетий) деградации почв, длительно орошаемых даже пресной водой, к потере их плодородия и снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

- К ухудшению состояния окружающей среды на водосборах и благосостояния населения.

4. Необходимо совершенствовать технику и технологию орошения с учетом не только потребности растений в воде, но и необходимости сохранения плодородия почвы и защиты окружающей среды.

### Литература

- Айдаров И.П. 1985. *Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель*. Агропромиздат, Москва, 304 стр.
- Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н. 1990. *Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель*. Агропромиздат, Москва, 60 стр.
- Айдаров И.П. 2010. Пути решения региональных водных проблем, используя пример Аральского бассейна. *Мелиорация и водное хозяйство*, 5: 43-48.
- Айдаров И.П. 2012. *Экологические основы мелиорации земель*. Изд. МГУП, Москва, 178 стр.
- Айдаров И.П., Никольский-Гаврилов Ю.Н. 2016. Моделирование и его применение для интерпретации качества почв. *In: Lucke, B., Bäumler, R., Schmidt, M. (eds.). Soils and Sediments as Archives of Landscape Change, Geoarchaeology and Landscape Change in the Subtropics and Tropics. Publ. Selbstverlag der Fränkischen Geographischen Gesellschaft in Kommission bei Palm&Enke, chapter 42: 329-348, Germany.*
- Аверьянов С.Ф. 2015. *Управление водным режимом мелиорируемых сельскохозяйственных земель*. Изд. РГАУ, Москва, 523 стр.
- Безуглый В.П., Барда Л.К., Горская Н.З. 1987. Роль пестицидов в болезнях людей в жарком климате. *In: Гигиенические и биологические аспекты применения пестицидов в Центральной Азии и Казахстане*. Душанбе, стр. 254-286
- Нестеров Е.А. 1990. В зоне экологического кризиса. *Мелиорация и водное хозяйство*, 2.
- Никольский Ю.Н., Айдаров И.П., Ландерос-Санчес С., Пчелкин В.В. 2019. Влияние многолетнего орошения пресными водами на плодородие почв. *Journal of Irrigation and Drainage*, 68(5): 993-1001. DOI: 10.1002/ird.2381
- Разаков Р.М. 1990. Исследования и программы по улучшению экологической ситуации в прибрежной зоне Аральского моря. *Мелиорация и водное хозяйство*, 1: 6-8.
- Решеткина Н.М. 1991. Бассейн Аральского моря – самоуправляемая система. *Мелиорация и водное хозяйство*, 10: 13-18.
- Самойленко В., Якубова Р., Кахаров А. 1987. *Защита подземных вод от загрязнения пестицидами*. Изд. Мехнат, Ташкент, 189 стр.
- Волынов А.В., Забелин В.А., Кияткин А.К., Лунежкова М.С. 1980. *Орошение в Центральной Азии*. Изд. Колос, Москва.
- Якубова Р.А. 1977. *Природные воды Узбекистана и защита их от загрязнения пестицидами*. Изд. ФАН, Ташкент.
- Зонн И.С., Гланц М.Г. 2008. *Аральская энциклопедия*. Изд. Международные отношения, Москва, 256 стр.
- Alguacil del Mar, M., Torrecillas E., Torres P., Garcia-Orenes F., Roldan A. 2012. Long-term effects of irrigation with waste water on soil fungi diversity and microbial activities: the implications for agroecosystem resilience. *PLoS ONE* 7(10): 1-7. DOI: 10.1371/journal.pone.0047680.
- Angulo, C. 2004. El delta del río Colorado, situación crítica. Available in: <http://dignidadysupervivencia003.blogspot.com/>
- Arnold, R.W., Szabolcs, I., Targulian V.O. (Edits). 1990. *Global Soil Change*. IASA Publ., Laxenburg, Austria.
- Artigao, A., Ortega, J.F., Tarjuelo, J.M., Juan, J.A. 2002. The impact of irrigation application upon soil physical degradation in Castilla-La Mancha (Spain). *Advances in Geocology* 35: 83-90.
- Artiola, J.F., Walworth, J.L. 2009. Irrigation water quality effects on soil carbon fractionation and organic carbon dissolution and leaching in a semiarid calcareous soil. *Soil Science* 174(7): 356-371. DOI: 10.1097/SS.0b013e3181aea7b4
- Baldock, D., Caraveli, H., Dwyer, J., Einschütz, S., Petersen, J.E., Sumpsi-Vinas, J., and Varela-Ortega, C. 2000. *The Environmental Impacts of Irrigation in the European Union*. Publ. Institute for European Environmental Policy, London.
- Black, C.A. 1968. *Soil-plant relationships*. Second edition. Publ. Wiley Publ., New York.

- Cohen, M.J., Henges-Jeck, C., Castillo-Moreno, G. 2001. A preliminary water balance for the Colorado River delta, 1992–1998. *Journal of Arid Environments*, 49(1): 35-48. Available in: <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0834>
- CONAGUA. 2017. *Estadísticas del Agua en Mexico*. Publ. Comisión Nacional del Agua. Available in: <https://agua.org.mx/biblioteca/estadisticas-del-agua-en-mexico-edicion-2016/>
- Diogenes, L.C., Filho, J.F.L., Da Silva A.F.T., Nobrega J.C.A., Nobrega R.S.A., Filho J.I., De Andrade Junior A.S. 2017. Microbial activities, carbon, and nitrogen in an irrigated Quartzarenic Neosol cultivated with cowpea in southwest Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 4(3): 348-354. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n4p1765
- Eshel, G., Fine, P., Singer, M.J. 2007. Total soil carbon and water quality: an implication for carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal* 71(2): 397-405. DOI:10.2136/sssaj2006.0061.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1980. *Drainage design factors*. Irrigation and Drainage Paper, No. 38, Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Res. Rep. No. 103. Publ. IUSS Working Group WRB, Rome, Italy.
- FAOSTAT. 2019. *World Food and Agriculture. Statistical Pocketbook*. Publ. FAO, 248 p.
- García-Hernández, J., King, K.A., Velasco, A.L., Shumilin, E., Mora, M.A., Edward, P. Glenn, E.P. 2001. Selenium, selected inorganic elements, and organochlorine pesticides in bottom material and biota from the Colorado River delta. *Journal of Arid Environments*, 49(1): 55-89. Available in: <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0836>
- Getahun, M., Adgo, E., Atalay, A. 2011. Impacts of irrigation on soil characteristics of selected irrigation schemes in the Upper Blue Nile. In: A.M. Melesse (Ed.), *Nile River Basin. Hydrology, Climate and Water Use*, Springer Science+Business Media Publ., London, UK - New York, USA, Chapter 19: 383-389. DOI 10.1007/978-94-007-0689-7\_19.
- Ghosh, A.Kr., Bhatt, M.A., Agrawal, H.P. 2011. Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in Northern India. *Environ. Monit. Assess.* 184: 1025-1036. DOI 10.1007/s10661-011-2018-6
- Hagan, R.M., Haise, H.R., Edminster, T.W. (Eds.). 1987. *Irrigation of Agricultural Lands*. Am. Soc. Agron. Publ, No. 11, Madison, USA.
- Micklin, Ph. 2007. The Aral Sea Disaster. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35: 47-72.
- Molden, D. (Ed). 2007. *Water for food, Water for life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan/IWMI Publ., London/Colombo.
- Oriola E.O. 2003. Effects of irrigation on soils of a sub-humid part of Kwara state, Nigeria. *Centrepoin (Science Edition)* 12: 52-62.
- Samaniego-Lopez M.A. 2008. El control del río Colorado como factor histórico. La necesidad de estudiar la relación tierra/ agua. *Frontera Norte*: 20(40). Available in: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73722008000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722008000200002)
- Schlesinger W.H., Bernhardt E.S. 2013. *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change*. Academic Press Elsevier Publ., USA-UK.
- Schjonning P., Elmholt S., Christensen B.T. (Eds.). 2004. *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*. CABI Publ., Wallingford, UK; Cambridge, USA.
- SEMARNAT-CP. 2002. *Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en la República Mexicana*. Memoria Nacional. Publ. Diamante, Edo. de Mexico, Mexico.
- Siggins, A., Burton, V., Ross, C., Lowe, H., Horswell, J. 2016. Effects of long-term greywater disposal on soil: A case study. *Science of the Total Environment* 557–558: 627–635. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.084](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.084)
- Skaggs, R.W., van Shilfgaarde, J. (Eds). 1999. *Agricultural Drainage*. Agronomy Publ., 38, Madison, Wisconsin, USA.
- Stockle C.O. 2012. *Environmental impact of irrigation: review*. Washington State Univ. Publ., USA, 15 p. Available in: [https://www.researchgate.net/publication/252698502\\_ENVIRONMENTAL\\_IMPACT\\_OF\\_IRRIGATION\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/252698502_ENVIRONMENTAL_IMPACT_OF_IRRIGATION_A_REVIEW)
- Strawn, D.G., Bohn, H.L., O'Connor, G.A. 2015. *Soil Chemistry*. John Wiley & Sons Publ., UK, 357 p.



Varady R.G., Hankins K.B., Kaus A., Young E., Merideth R. 2001. ...to the Sea of Cortés: nature, water, culture, and livelihood in the Lower Colorado River basin and delta—an overview of issues, policies, and approaches to environmental restoration. *Journal of Arid Environments*, 49(1): 195-209. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0842>