ГЛАВА 8

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Увеличение спроса на воду создает дефицит, истощает источники подземных вод и приводит к повышению уровня содержания солей в почвах. В то же время, вследствие осушения, опреснения и нарушений гидрологического режима стремительно исчезают водно-болотные угодья. Эти тенденции оказывают серьезное воздействие на здоровье людей и окружающую среду, сокращая экосистемные услуги и биологическое разнообразие, приводя к повышению уровня выбросов углерода, оседанию почвы, потере продуктивных земель и отсутствию безопасности в сфере водоснабжения. Текущая бизнес-модель сельского хозяйства, энергетики и промышленности, включая ценообразование и торговлю водой, создает ошибочные стимулы для неэкономного использования водных ресурсов. Стремительная незапланированная урбанизация и изменение климата еще больше усугубляют ситуацию.

Необходим комплексный подход к управлению земельными и водными ресурсами. Это повлечет за собой сокращение спроса и повышение эффективности использования, защиту и восстановление водно-болотных угодий и водоразделов в рассматриваемых ландшафтах, создание стимулов для рационального использования и планирования гармонично развивающихся городов. Мы накопили технический опыт устойчивого управления глобальными водными ресурсами, но для стимулирования справедливого совместного использования водных ресурсов и совершенствования методов управления в более крупных масштабах необходимы скоординированные действия и политическая воля.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей истории успехи и неудачи человеческих сообществ были тесно связаны с эффективностью управления водными ресурсами. Первые великие цивилизации развивались на берегах крупных рек — таких как Нил в Египте,[1] Тигр и Евфрат в Месопотамии, Инд в Индии и Пакистане, и Хуанхэ в Китае, — используя сезонное изобилие для подведения ирригационных систем и создания запасов сельскохозяйственной продукции. Кроме того, ирригационные системы помогали фермерам обрабатывать земли в засушливых районах и переживать изменения погодных условий.[2] Окончательный упадок древних цивилизаций отчасти был вызван сбоями в системах водоснабжения[3] вследствие неумелого управления, приведшего к таким проблемам, как истощение водных ресурсов, заболачивание и засоление.[4]

Сегодня мир сталкивается с растущими проблемами, связанными с взаимодействием между земельными и водными ресурсами и безопасностью водоснабжения, которые достигли кризисных уровней во многих странах и регионах. Ключевые проблемы включают чрезмерное использование и отходы, перепады в количесве доступной для употребления воды, участившиеся засухи и наводнения, влияние плохого качества воды на окружающую среду и здоровье человека, а также последствия деградации земель. Мир все более подвергается урбанизации — половина человечества уже живет в городах, и к 2050 году доля городского населения достигнет 66%,[5] что создает повышенные нагрузки на городское водоснабжение и канализационные системы. В то время как нехватка водных ресурсов и наводнения во многих случаях вызваны жизнедеятельностью человека, последствия изменения климата дополнительно создают новый мощный фактор, усугубляющий и без того опасную ситуацию.

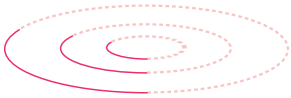
Товары и услуги, предоставляемые водно-болотными угодьями, вносят значительный вклад в мировую экономику. Недавний анализ более 300 индикаторов ценности экосистемных услуг позволил оценить среднюю прибыль в размере 25 682 долл. США за гектар в год для внутренних вод и 4 267 долл. США за гектар в год для озер и рек,[6] которые часто рассматриваются в качестве «дарового блага» в традиционном экономическом анализе. Внутренние и прибрежные водно-болотные угодья по-прежнему подвергаются деградации или сокращаются с угрожающей скоростью.[7] Они являются ключевыми факторами в глобальном водообороте, а также регулировании местной водообеспеченности и качества воды. Только в Азии общая стоимость услуг водно-болотных угодий оценивается в 70 млрд. долл. США в год.[8] В то время как некоторые страны признают характер рисков и выгод и производят стратегические капиталовложения в системы управления водными ресурсами, другие прилагают недостаточные усилия для устранения недостатка воды с помощью законодательных мер и инноваций.

Несмотря на массовые демографические и экологические изменения, проблемы водоснабжения в основном упираются в управленческие подходы, бизнес-модели, устаревшие стратегии и методы, а не в физические ограничения. Технические основы устойчивого управления водными ресурсами хорошо известны, из чего следует, что решения необходимо направить, прежде всего, на изменение поведения и поощрение многофункционального системного подхода к управлению водными ресурсами.[9] Для обеспечения благополучия человечества и окружающей среды в будущем необходимо реализовать получение права на управление водными ресурсами.

© Фото ООН/Альберт Гонсалес Фарран (Albert Gonzalez Farran)

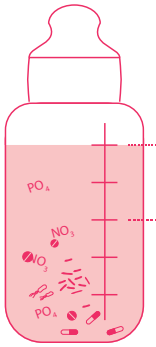
1. НЕХВАТКА ВОДЫ

населения во всем мире к 2025 году будет жить в странах с выраженной нехваткой воды



2. Низкое качество воды

Для потребления человеком и в более широком контексте

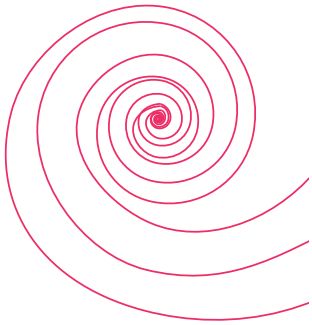


>500,000
детей в возрасте младше 5 лет умерло от диареи в 2013 году

Загрязнение воды
Загрязнение человеком и домашним скотом, удобрениями и пестицидами, фармацевтическими отходами и тяжелыми металлами

3. Растущее количество экстремальных

климатических явлений, включая наводнения и засуху



Результатом засухи часто являются миграция и конфликты

СЕМЬ АСПЕКТОВ УЯЗВИМОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Несмотря на многолетние усилия в рамках Международного десятилетия «Вода для жизни» (2005 – 2015 гг.), отчет «*Глобальные риски 2016*» Всемирного экономического форума внес возможный кризис водоснабжения в первую десятку угроз, возникающих перед человечеством, и по потенциальному воздействию поместил их на третье место среди глобальных рисков.[10] Тем не менее, вопросы водоснабжения по-прежнему отодвигаются на второй план в обсуждениях роли земельных и природных ресурсов в экономическом развитии.

Цель устойчивого развития 6 «*Чистая вода и санитария: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех*» возможно привлечет больше внимания к этим вопросам.[13] Безопасный водный баланс, по всей вероятности, является ключевым компонентом рациональных и объективной стратегии и методы управления земельными ресурсами.

Безопасность водных ресурсов определяется как способность гарантировать постоянный доступ населения к необходимому количеству воды приемлемого качества с целью поддержания жизнедеятельности, благосостояния людей и социально-экономического развития, а также для обеспечение защиты от загрязнения воды и связанных с водой бедствий, и для сохранения экосистем в условиях мира и политической стабильности.[14]

В рамках Международного конгресса по водным ресурсам 2015 года участники отметили: «*Несмотря на свою значимость с точки зрения безопасности, вода зачастую не рассматривается как ключевой фактор развития и отсутствует во многих политических повестках дня*».[11] В *Докладе об освоении мировых водных ресурсов 2012 года* отмечается, что «*Опасности, связанные с водопользованием, составляют 90% всех стихийных бедствий, а их периодичность и интенсивность как правило возрастают*». Более того, в соответствующем докладе 2015 года подчеркивается связь между водой и нищетой, окружающей средой и управлением — неудовлетворительное управление водными ресурсами негативно сказывается на всех трех вопросах.[12]

Ниже приведены семь аспектов отсутствия безопасности в сфере водоснабжения.

1. **Нехватка воды,** временно или длительно влияющая на обеспечение водой.
2. **Плохое качество воды** для потребления человеком в обширной окружающей среде.
3. **Рост числа чрезвычайных климатических явлений**, в том числе наводнений и засухи.
4. **Нарушение естественных потоков** в растущем числе рек и внутренних водоемах.
5. **Деградация земель** в результате изменения гидрологии и неудовлетворительного управления ирригацией.
6. **Последствия изменения климата** из-за выбросов парниковых газов из водных систем и водно-болотных угодий.
7. **Сокращение биологического разнообразия** и услуг водных экосистем.

4. Нарушение естественных потоков

Свободное течение все большего количества рек и континентальных водоемов

1/5

планеты будет нарушаться в связи с использованием гидроэлектростанций

5. Деградация земель

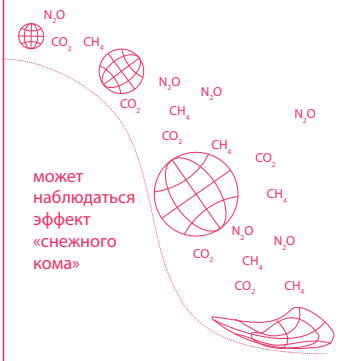
В результате изменения гидрологии и неэффективного управления орошением

НА **20**

ПРОЦЕНТАХ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ НАБЛЮДАЕТСЯ СНИЖЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАСОЛЕНИЯ

6. Последствия изменения климата

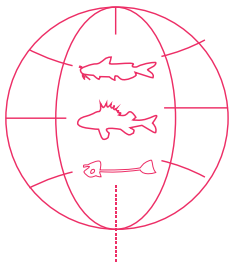
В связи с выбросом парниковых газов из водных систем и заболоченных земель



может наблюдаться эффект «снежного кома»

7. Потеря биоразнообразия

и связанных с водными ресурсами экосистемных услуг:



трети видов пресноводных рыб угрожает исчезновение

1. Дефицит воды

Свыше 1,7 млрд. человек проживают в бассейнах рек, где использование воды превышает темпы естественного пополнения. В случае сохранения этой тенденции, к 2025 году две трети населения мира будут проживать в странах с недостатком воды.[15] Другие оценки еще более пессимистичны: до четырех миллиардов человек — более половины населения планеты — уже испытывают серьезный недостаток воды по крайней мере на протяжении месяца в году, а полмиллиарда страдают от постоянного недостатка воды;[16] 71% орошаемой площади в мире и 47% крупных городов испытывают по крайней мере периодический дефицит воды.[17]

Дефицит обусловлен не только ростом населения, но и непропорциональным увеличением уровня потребления и растрат, а также сокращением водоудержания и потенциала водно-болотных угодий. По мере разобщения людей и водных ресурсов, люди, как правило, становятся более беспечными в их использовании. В то же время, при отсутствии режимов ценообразования во многих промышленных, энергетических и сельскохозяйственных производственных системах, к воде фактически относятся как к бесплатному или очень дешевому ресурсу, что приводит к еще большим растратам. За последнее столетие население мира утроилось, а потребление воды увеличилось в шесть раз,[18] в основном из-за ее использования для сельскохозяйственных нужд.[19] Различные прогнозы показывают, что спрос на воду вскоре превысит бесперебойные поставки воды в мировом масштабе.[20,21,22] Наше понимание остроты проблемы и того, где расположены районы с недостатком воды улучшается; благодаря все более сложным моделям удается установить речные системы и бассейны, в которых располагаются места с дефицитом воды, а также его критические области.[23, 24, 25]

Недостаток воды зависит как от ее наличия, так и от использования: некоторые засушливые районы не являются местами нехватки воды из-за низкой плотности населения или эффективных методов управления, тогда как густонаселенные или промышленно развитые регионы могут страдать от дефицита воды даже при интенсивных осадках. Некоторые из самых драматических регрессий в мире — печально известное высыхание Аральского моря, расположенного на территории Казахстана и Узбекистана,[27] и высыхание озера Чад на территории Чада, Нигера и Нигерии[28] — почти целиком связаны с отводом водных потоков вверх по течению. К нынешним районам дефицита воды относятся большая часть Индии и Китая, обширные районы центральной и западной части Соединенных Штатов, Южная Африка, Средиземноморье, Центральная Азия и западное побережье Южной Америки. По прогнозам, некоторые районы, которым еще только предстоит столкнуться с нехваткой воды, например, обширные области Африки, ожидают эсерьезные проблемы из-за роста населения и урбанизации.[29] Причиной появления районов, испытывающих нехватку воды или страдающих от наводнений, может быть сезонное снижение водоудерживающей способности в водосборном бассейне из-за деградации водно-болотных угодий, в частности высокогорных водно-болотных угодий или торфяных болот в Юго-Восточной Азии и России, что приводит к чрезвычайной нехватке воды в засушливые годы и потенциальному повышению риска возникновения пожаров.[30]

Отсутствие безопасности в сфере водоснабжения может провоцировать социальную и политическую нестабильность, создавая напряженность внутри[31] и между странами. Особенно подвержены риску несколько речных бассейнов, в их числе: Ганг-Брахмапутра, Ханьшуй, Инкомати, Кунене, Кура-Аракс, озеро Чад, Ла-Плата, Лемпа, Лимпопо, Меконг, Обь (Иртыш), Окаванго, Оранжевая, Салуин, Сенегал, Туманная и Замбези.[32] В то время как некоторые считают, что напряженность может в конечном итоге привести к открытому конфликту, так называемым «водным войнам»,[33, 34] другие ставят вопрос о степени напряженности, которая может перерасти в конфликт

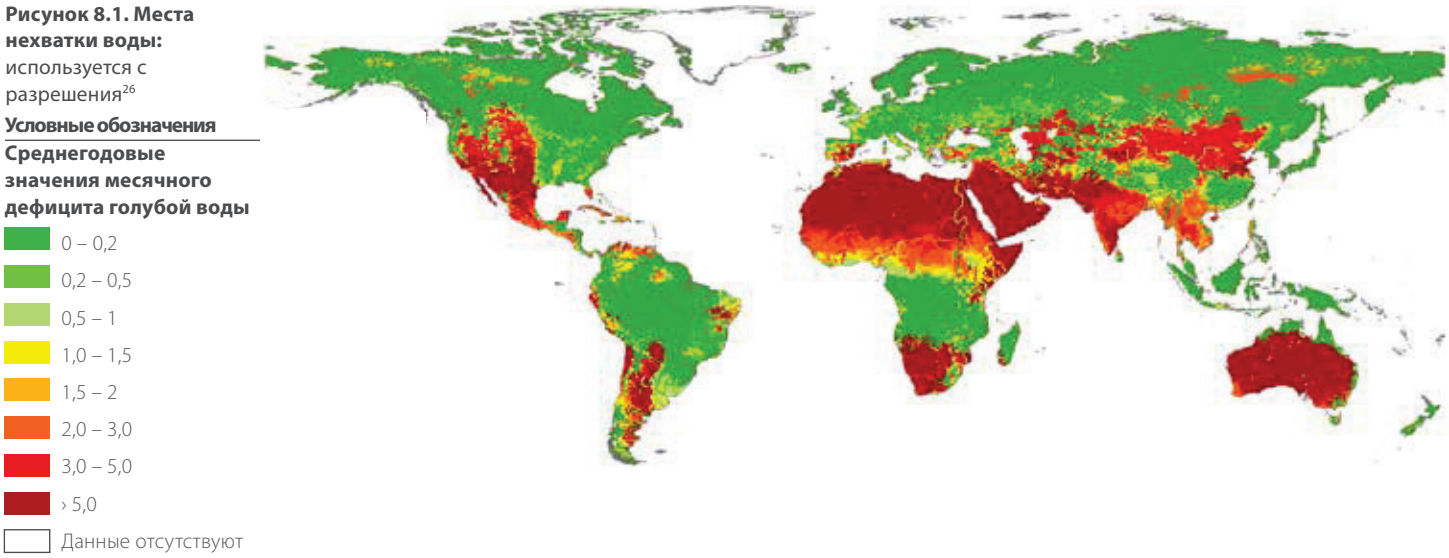


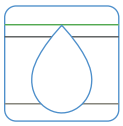
Рисунок 8.1. Места нехватки воды: используется с разрешения[26]

между государствами.[35] Дискуссия продолжается, поскольку некоторые считают наиболее важным фактором в провоцировании конфликта являются изменчивость осадков или даже многоводье, в то время как другие делают акцент на роли плотин в приостановке водного тока между странами. Государства хорошо осведомлены о подобной напряженности, и с 1820 года было подписано более 680 договоров о равноправном использовании водных ресурсов с целью поиска согласованных подходов к спорам о пресноводных ресурсах, и число подобных договоров растет.[36] Большинство аналитиков согласны с тем, что шансов на перерастание напряженности в конфликт больше в местном, чем в глобальном масштабе,[37] фактически, возможность локализованного, зачастую ожесточенного конфликта частично по причине ухудшения состояния окружающей среды, признана всеми.[38]

Одним из результатов недостатка воды в странах, лишенных поверхностных источников воды, является повышенная эксплуатация источников подземных вод. Некоторые опустошаются быстрее, чем восполняются; хотя это может быть отчасти обусловлено уменьшением подпитки подземных вод в результате климатических изменений, так называемая «добыча» невозобновляемых водных источников считается нерациональной. В то время как одни грунтовые водоемы обладают большими резервуарами, которых, согласно прогнозам, хватит на много десятилетий, стремительное истощение других представляет угрозу для безопасности водных ресурсов,[39] особенно в засушливых районах.[40] В их числе Северо-Китайская равнина, районы Австралии, система водоносных пластов Северо-Западной Сахары, водоносный пласт Гуарани в Южной Америке, водоносные пласты Высоких равнин и Калифорнийской долины в США, водоносные пласты в северо-западной части Индии и на Ближнем Востоке.[41] В глобальном масштабе 1,7 миллиарда человек живут в районах, где ресурсы подземных вод и/или зависимые от подземных вод экосистемы находятся под угрозой.[42] На подземные воды приходится до трети мировых заборов воды, удовлетворяющих потребность 2 миллиардов человек и составляющих свыше 40% воды для поливаю.[43] Наиболее значительные площади орошаемые с помощью грунтовых вод находятся в Индии (39 млн. га), Китае (19 млн. га) и США (17 млн. га).[44] Данные о величине запасов в некоторых районах остаются весьма ограниченными,[45] а отсутствие законодательного регулирования часто приводит к нерегулируемому использованию.

Сельское хозяйство определенно является самым важным фактором нехватки воды в мире; на орошение приходится 70% общего отбора воды, и еще больше — в районах с острым дефицитом воды.[46] Орошается большая часть земель, введенных в эксплуатацию за последние пятьдесят лет,[47] и согласно некоторым оценкам, потребность сельскохозяйственной отрасли в воде может удвоиться к 2050 году из-за растущего спроса на продовольствие.[48] При интенсивном земледелии или выращивании монокультур обычно увеличивается и потребность в воде; другие области использования водных ресурсов распределены между потребностями промышленного и энергетического секторов (20%) и муниципалитетов (10%). Характерными факторами, содействующими чрезмерному использованию воды в сельском хозяйстве, являются утечки ирригационных систем, расточительная эксплуатация и выращивание сельскохозяйственных культур, требующих затрат водных ресурсов. Среди наиболее влагоемких культур выделяют хлопчатник (7000 – 29 000 л/ кг); рис (3000 – 5000 л/кг); сахарный тростник (1500 – 3000 л/кг), сою (2000 л/кг) и пшеницу (900 л/кг).[49] Из-за огромных объемов производства, на рис приходится 21% общего объема воды, потребляемого зерновыми культурами, а на пшеницу – 12%.[50]

Блок 8.1. Голубая, зеленая и серая вода



Термин «голубая вода» относится к воде в реках, озерах и подземных водоемах, которая обычно используется для орошения сельскохозяйственных культур путем строительства инфраструктуры, такой как плотины, ирригационные каналы и колодцы. «Зеленая вода» — это вода, которая выпадает в виде дождевых осадков, попадает в почвенную корневую зону и возвращается в атмосферу в виде паров во время испарения или влаги, выделяемой растениями. После орошения голубой водой часть используемой сельскохозяйственными растениями воды возвращается в атмосферу в виде зеленой воды гидрологического цикла. Зеленая вода бесплатна в том смысле, что она не требует построения значительной инфраструктуры для транспортировки, но ее наличие варьируется от сезона к сезону, из года в год. Голубая вода по своей природе обладает большей способностью к аккумуляции и, следовательно, менее подвержена кратковременным колебаниям — особенно это касается озер и подземных вод. Однако чрезмерное использование голубой воды может привести к уменьшению ее количества в долгосрочной перспективе. При надлежащем обращении «серая вода» или бытовые сточные воды могут использоваться повторно. Сюда входит использование воды в бытовых целях и орошение как продовольственных, так и непродовольственных культур, которые могут извлекать питательные вещества из серой воды, например, фосфор и азот.

Животноводство связано с еще большим расходом воды, особенно если скот находится на зерновом откорме и выращивается в закрытых помещениях. Наибольшее количество воды потребляется молочным скотом; замеры в Соединенных Штатах показали, что молочному скоту в среднем требуется в 11 раз больше воды, чем другим видам скота.[51] Значительное влияние на водные ресурсы оказывает также осушение водно-болотных угодий для нужд сельского хозяйства, в том числе интенсивного использования торфяников для выпаса скота (например, в Нидерландах и Тибетском нагорье), а также производства пальмового масла и целлюлозы. Помимо потерь воды, осушение часто приводит к деградации земель и, в конечном счете, к потере торфяного слоя в результате окисления, что влияет на биологическую продуктивность.[52]

Оценка объемов водопользования еще более усложняется, поскольку использование воды в одной стране может поддерживать жизненный уклад в другой, если сельскохозяйственная продукция экспортируется. Концепция *водного следа* определяет реальный объем водопользования страны применительно к ее потреблению населением. Внутренний водный след страны представляет собой объем воды, используемый для хозяйственно-бытовых нужд, а внешний водный след — объем воды, используемый в других странах для производства товаров и услуг, импортируемых и потребляемых рассматриваемой страной. Полученная сумма является общим водным следом страны. На национальный водный след влияют четыре основных фактора: объем потребления (связанный с валовым национальным доходом), схемы потребления (например, высокий или низкий уровень потребления мяса); климат (условия роста растений) и сельскохозяйственная деятельность (эффективность использования воды).[53] Неэффективность водопользования в сельском хозяйстве вероятно является основным фактором, влияющим на безопасность водоснабжения, и поэтому его необходимо считать высокоприоритетным при реформе стратегий и методов.

2. Низкое качество воды

Не менее остро стоит вопрос качества воды, как с точки зрения ее пригодности для питья, так и более широкого влияния загрязнения на окружающую среду. Почти три миллиарда человек сталкиваются с проблемами доступа к безопасной питьевой воде. Установленная ООН цель развития тысячелетия *к 2015 году на 50% сократить число семей, не имеющих доступа к безопасной питьевой воде,*[54] была достигнута уже к 2010 году.[55] Этому способствовала активная кампания ООН и заключение соглашения с Глобальным альянсом партнерств предприятий водоснабжения с целью создания региональных платформ сотрудничества предприятий в обеспечении безопасной питьевой водой беднейших слоев населения.[56] Несмотря на то, что цель в основном была достигнута, подтвердив возможность осуществления значительных улучшений в глобальном масштабе, согласно статистическим данным, дело обстояло иным образом почти в половине стран с низким или средним уровнем доходов. Даже там, где была проведена водопроводная вода, отсутствуют точные данные о ее безопасности.[57] Отсутствие доступа к пригодной для питья воде остается основной угрозой для здоровья; согласно подсчетам, в 2014 году 1,8 млрд. человек по-прежнему пользовались небезопасными водными ресурсами, и еще 1,1 млрд. продолжают пользоваться источниками с умеренной степенью риска.[58,59] В Африке более 300 миллионов человек не имеют доступа к чистой питьевой воде,[60] в том числе 17% городских жителей юга Сахары.[61]

Использование небезопасной питьевой воды влечет за собой болезни и смерть. Причиной диареи является прежде всего питьевая вода и детское питание, загрязненные выделениями организма человека и экскрементами животных. Это можно объяснить рядом скрытых факторов: поверхностные, загрязненные водяные скважины; незаконный или временный характер новых поселений, затрудняющий государственные инвестиции; правительства, не справляющиеся с ростом городского населения; недостаточный перевод средств из органов центрального управления органам местного самоуправления; и ограниченное финансирование ввиду долговых обязательств.[62] Свыше полумиллиона детей в возрасте до пяти лет умерли от диареи в 2013 году. С 2000 года ежегодно уровень смертности снижается более чем на четыре процента,[63] она остается массовой, хотя как правило, большинстве случаев ее можно было бы предотвратить.

Вода загрязняется не только выделениями организма человека и экскрементами животных, но все чаще — нитратными и фосфатными удобрениями и пестицидами, отходами фармацевтической промышленности, тяжелыми металлами и другими индустриальными загрязнителями. С 1960-х годов использование синтетических азотных удобрений выросло в девять раз. В течение следующей

© Судипто Дас (Sudipto Das)

Выпадение осадков становится все более нерегулярным из-за изменения климата, что приводит к увеличению риска наводнений и засух, затрагивающих зачастую одни и те же места попеременно.

половины столетия ожидается увеличение этой цифры на 40 – 50%, при этом использование фосфатов возросло втрое.[64] Более интенсивное использование удобрений, производство животноводческой продукции и сжигание углеводорода ведет к повышению уровня реактивных форм азота в окружающей среде, превышению предельно безопасного содержания нитратов для здоровья человека и экосистем,[65] в том числе в питьевой воде,[66] и эвтрофикации пресных и прибрежных вод.[67] Общее глобальное выщелачивание и сток азота оценивается в 32,6 млн. тонн в год, причем наибольшая часть обусловлена неправильной сельскохозяйственной деятельностью.[68] Избыток фосфата усугубляет последствия загрязнения нитратами.[69] Другие формы стока с сельскохозяйственных площадей, в том числе пестицидов, гербицидов и фунгицидов, которые попадают в пресноводные и морские экосистемы, оказывают вредное воздействие на биологическое разнообразие[70] — иногда в концентрациях, которые действующее законодательство многих странах считает небезопасными.[71] Несмотря на то, что появились долгожданные улучшения качества питьевой воды в условиях сильного загрязнения, предстоит сделать еще очень многое. В то же время другие показатели, такие как загрязнение сельскохозяйственными химикатами, по-видимому ухудшаются.

3. Рост числа чрезвычайных климатических явлений

Выпадение осадков становится все более нерегулярным из-за изменения климата, что приводит к увеличению риска наводнений и засух, затрагивающих зачастую одни и те же места попеременно.[72] В более высоких широтах северного полушария уже наблюдается увеличение количества осадков, в то время как в некоторых частях Китая, Австралии и Океании они уменьшаются, а в экваториальных районах отличаются растущей переменчивостью,[73] влияющей на периодичность и масштабность наводнений и засух.[74] В 2000 году 30% общемировых городских земель располагалось в районах, крайне подверженных наводнениям, и это число, вероятно, возрастет до 40% к 2030 году.[75] Интенсивность и частота обильных дождевых осадков также, по всей вероятности, приведет к увеличению масштабов и периодичности оползней.[76] Наводнения, как последствия нехватки и плохого качества воды, несоразмерно отражаются на самых бедных и наиболее уязвимых слоях населения во многих сообществах.[77]

Непредсказуемый рост интенсивности осадков создает повышенную опасность для общин, расположенных вблизи рек и водно-болотных угодий. Начиная с 1900 года, 90% бедствий вследствие природных катастроф связаны с водой.[78] В 1995 – 2005 гг. на наводнения приходилось 47% погодных катаклизмов; в более чем 3000 стихийных бедствий пострадало 2,3 млрд. человек, из них погибло 157 000; самые разрушительные последствия приходятся на Азию.[79] Стихийные бедствия в результате наводнений являются наиболее частыми из всех так называемых природных катаклизмов.[80] Наводнения также сопряжены с высокими экономическими издержками: например, ущерб

© Оксфам, Восточная Африка

При неадекватных мерах реагирования засуха превращается в гуманитарную катастрофу, угрожая безопасности на всех уровнях

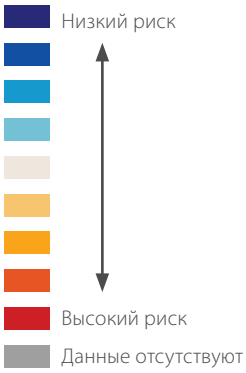
инфраструктуре и сельскохозяйственным культурам от разлива Дуная в Европе в 2006 году превысил 630 млн. долл. США.[81]

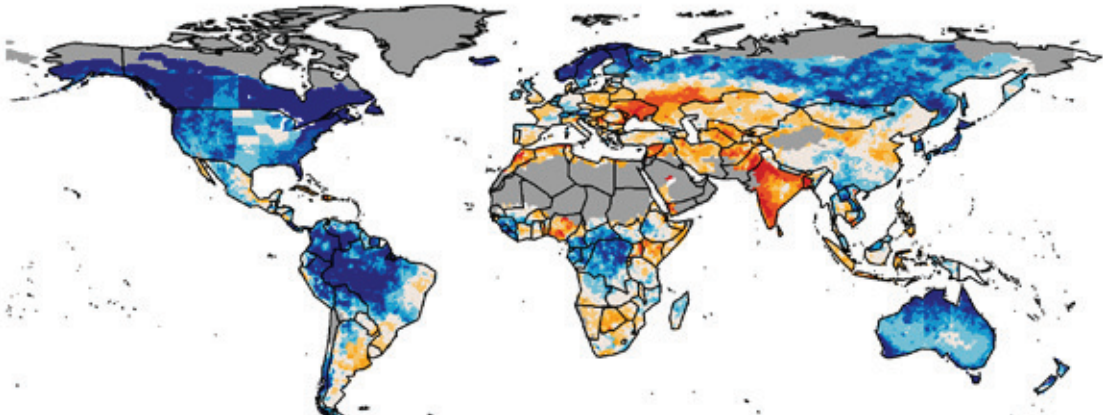
Отсутствие осадков также является серьезной проблемой. В 2015 г. от засухи пострадало более 50 млн. человек во всем мире.[82] Частота и интенсивность засух, а также их последствия, вероятно будут возрастать вследствие изменения климата, поскольку продолжают увеличиваться объемы водопользования. Засуха может нанести огромный ущерб окружающей среде, экономике и социальной стабильности. В 1950 – 2000 гг. в мире произошло 296 крупномасштабных засух, площадь которых превысила 500 000 кв. км, а продолжительность составила более 3 месяцев.[83] Периодичность, интенсивность, продолжительность и масштаб засух неуклонно растут,[84] особенно в тропиках и субтропиках. Например, в Сомали засухи стали основной причиной гибели около 258 000 человек в 2011 – 2013 годах.[85] В период с 1900 по 2013 гг. засуха принесла глобальные экономические убытки на общую сумму 135 млрд. долл. США.[86] При неадекватных мерах реагирования засуха превращается в гуманитарную катастрофу, угрожая безопасности на всех уровнях. Засухи часто связаны с миграцией и конфликтами, особенно в районах, где уже присутствуют политическая напряженность, слабые институты, экономические проблемы и противостояние различных группировок.

Изменение климата может стать причиной обострении ситуации и в будущем.[87] 2015 год оказался наиболее сухим и жарким с начала ведения наблюдений более века назад. Это создало засушливые условия на большей части земного шара, при этом в Африке пострадало более 50% человек.[88] Засуха 2015 года была осложнена появлением одного из наиболее масштабных феноменов в истории — Эль-Ниньо.[89] В Африке, на Ближнем Востоке и в Средиземноморье серьезность последствий засухи обостряется более высокими потребностями в воде.[90] К последствиям засухи относятся человеческие лишения и нагрузка на окружающую среду; возникая в неприспособленных сообществах и экосистемах, как это недавно произошло в некоторых частях Амазонии, они также могут привести к значительным длительным изменениям в экологии.[91] Засухи, связанные с южным ответвлением экваториального течения Эль-Ниньо (ENSO) все чаще ассоциируются с крупными пожарами, которые захватывают миллионы гектаров торфяных болот в Юго-Восточной Азии и становятся причиной густого смога. В 2015 году, в результате торфяных лесных пожаров и смога, экономические потери Индонезии составили более 16 млрд. долл. США[92] и свыше 106 000 человеческих жизней[93]. Возникновение неожиданно сильных засух во многих частях мира, таких как «Засуха тысячелетия» в юго-восточной Австралии в 2001 – 2009 гг.,[94] заставляет пересмотреть сельскохозяйственные стратегии и жизнеспособность некоторых давно сформировавшихся традиционных сообществ. Изменение климатических норм наряду с более частыми и интенсивными экстремальными климатическими явлениями оказывает значительное влияние на безопасность ресурсов продовольствия и воды..

Рисунок 8.2. Глобальная карта риска возникновения засухи: используется с разрешения[96]

Условные обозначения





Виды засухи

Метеорологическая засуха: отсутствие осадков/влаги, усугубленное сухими ветрами и высокими температурами, при длительном воздействии может привести к кризису водных ресурсов; возникает и прекращается внезапно.

Сельскохозяйственная засуха: изменение атмосферной влажности до той степени, при которой уменьшается влажность почвы, что сказывается на культурах и животных, и эвапотранспирации.

Гидрологическая засуха: снижение количества и качества поверхностных и подземных вод из-за отсутствия осадков и чрезмерного использования в сельском хозяйстве; часто является следствием метеорологической засухи.

Социально-экономическая засуха: поставки товаров и услуг, таких как энергия, продукты питания и питьевая вода, снижаются или находятся под угрозой из-за изменения метеорологических, гидрологических и почвенных условий.[95]

Предупредительные меры борьбы с засухой

Ключевыми принципами повышенной готовности и устойчивости к засухе являются:

Системы мониторинга и раннего предупреждения: оценка адекватности метеорологических станций, запасов воды, гидрологических сетей, спутниковой информации и т. д.; создание всеобъемлющей системы мониторинга и раннего предупреждения, которая обобщает параметры климата, воды и почвы, а также социально-экономические показатели на государственном и местном уровнях; получение данных об осадках с высоким разрешением и координатной привязкой по стране, а также создание карты зон риска с использованием систем раннего предупреждения о засухе путем расчета стандартных индексов засухи.

оценка уязвимости, рисков и последствий: определение процессов, способствующих уязвимости и устойчивости сообществ; разработка профиля рисков уязвимых сообществ и регионов до наступления засухи; регистрация последствий по завершении засухи.

Меры по снижению риска засухи: улучшение водообеспечения путем сбора осадков, восстановления земель, пополнения запасов подземных вод, разработки потенциальных новых источников и т. д.; сокращение потребности в воде за счет рационального использования ресурсов, например, пересмотр норм водопотребления, принятие/пересмотр тарифов на воду, корректировка юридической и организационной структуры, определение цен на воду, подготовка и использование сточных/оборотных вод и т. д. Особое внимание уделяется повышению эффективности использования воды в сельском хозяйстве; повышение устойчивости животноводства к засухе путем регулирования количества скота в орошаемых районах, управления выпасом и пастбищными угодьями, использования местных кормов и кормовых растений, генотипов млекопитающих с низким потреблением воды, и т. д.

© Иакинфа Плух Валеро (Jacinta Lluch Valero)

4. Нарушение естественных потоков

Стремительные гидрологические изменения во многих крупных речных системах мира, главным образом из-за строительства плотин для гидроэлектростанций и водохранилищ, создают дополнительные нагрузки на пресноводные экосистемы и близлежащие сообщества. Строительство плотин приносит большие выгоды с точки зрения получения электроэнергии, но имеет для общества и окружающей среды серьезные последствия, которые со временем становятся все более очевидными[97] и приводят к растущему сопротивлению со стороны местных общин и общественных организаций.[98] Во всем мире на стадии планирования или строительства находятся более 3700 крупных плотин, каждая мощностью не менее одного мегаватта. В теории это увеличит мировой гидроэнергетический потенциал на 73%, примерно до 1700 ГВт, но сократит более чем на одну пятую число оставшихся на планете свободно текущих рек.[99]

Эксплуатация плотин может привести к созданию засушливых условий в районах ниже по течению. Например, согласно оценкам, в бассейне реки Верхний Нигер совокупным результатом применения водоотводов для запланированной гидроэлектростанции и ирригационной системы может стать сокращение объемов вылова рыбы в дельте на 31% и сокращение пастбищ на 28%, с катастрофическими последствиями для общин, зависящих от этих ресурсов. Без применения достаточно масштабных и правильно рассчитанных по времени сбросов воды с плотин, их эксплуатация может привести к последствиям, подобным последней крупной засухе 1984 года, когда пересохло три четверти дельты реки, и множество людей были вынуждены спасаться бегством. [100]

Блокирование свободного течения рек имеет ряд разрушительных последствий ввиду потерь как широтных, так и меридиональных связей пресноводных экосистем. Плотины оказывают негативное воздействие на рыбу и другие водные виды, седиментацию и водообеспеченность, жизнедеятельность и транспортное сообщение ниже по течению. Аккумулирование воды в водохранилищах также может изменять температуру воды ниже по течению.[101] Само строительство плотин вызывает прямую деградацию экосистем и вынуждает принимать решения, которые инициируют дальнейшую трансформацию угодий и оскудение экосистем.[102] Обезлесение, независимо от наличия или отсутствия связи с сооружением плотины, создает отрицательный эффект обратной связи, усиливая заиление и изменяя гидрологию, снижая мощность и срок службы энергетического гидроузла.[103] Плотины также связаны с высокими выбросами метана, что в значительной степени способствует изменению климата.[104] Уменьшение наводнений в поймах ниже по течению также может снизить подпитку грунтовых вод и способствовать уменьшению осадков в регионах. Но потенциал плотин как масштабных производителейz энергии означает, что более широкому кругу проблем зачастую уделяется недостаточно внимания.

Блок 8.2. Изменение гидрологии в Амазонке[105]

Массовое строительство плотин для гидроэлектростанций изменяет сток и сохранность рек на протяжении всей Амазонки,[106] влияя на экологию, мигрирующие виды рыб включая сомов и речных дельфинов; блокируя важные годовые колебания в уровне воды; ограничивая перемещение мальков и молоди рыб;[107] нарушая работу речного транспорта и продовольственное снабжение; и резко сокращая седиментацию в прибрежных районах и ниже по течению.[108] В настоящее время уже эксплуатируется около 154 крупных плотин, главным образом в Бразилии, вырабатывающих 18 000 МВт электроэнергии,[109]а также десятки тысяч малых плотин для сбора воды, предназначенной для крупного рогатого скота.[110] Предположительно 277 более крупных плотин находятся на начальных этапах планирования,[111] в том числе в охраняемых районах и на территориях коренных народов,[112] с установленной мощностью около 95 000 МВт.[113] В случае осуществления всех этих планов, в бассейне Амазонки останутся только три свободно текущих притока,[114] что окажет значительное влияние на экологию, экономику и климат.[115] Согласно выводам одного исследования, к 2050 году из-за прогнозируемого исчезновения лесов может произойти снижение выработки гидроэнергии на 75% от максимальной мощности.[116] Чтобы гарантировать безопасность производства энергии для других экосистемных услуг, необходимо планирование размеров водохранилищ и включение социальных и экологических критериев в процесс принятия решений.[117]

5. Деградация земель

Хотя нехватка воды является глобальной проблемой, перевод естественных лесов и пастбищ в сельскохозяйственные угодья повысил содержание воды в почве на местном уровне.

Неадекватное управление ирригационными системами наносит прямой ущерб земле, снижает урожайность, приводит к подъему уровня грунтовых вод, а также повышает содержание солей и минералов в почве (содовые почвы). Хотя нехватка воды является глобальной проблемой, перевод естественных лесов и пастбищ в сельскохозяйственные угодья создает проблемы на местном уровне, повышая содержание воды в почве. Даже если сельскохозяйственные культуры не орошаются, переход к ним от естественной растительности может повлиять на обеспеченность водой и ее качество. За последние 300 лет неорошаемые пахотные угодья увеличились на 460%, а пастбища — на 560%, уменьшив эвапотранспирацию и увеличив подпитку (на два порядка) и стоки (на порядок).[118]

В то же время увеличение количества воды в сельскохозяйственных системах еще более ухудшает качество воды из-за мобилизации солей и повышенного засоления вследствие близко залегающих грунтовых вод, а также выщелачивания удобрений в водоносные пласты и поверхностные воды.[119] Орошение минерализованными грунтовыми водами также повышает засоленность почв и снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Согласно оценке Всемирного банка, произведенной еще в 1993 году, 20% площади орошаемых земель пострадало от сокращения урожайности культур вследствие засоленности,[120] а по некоторым оценкам, до половины орошаемых земель на сегодняшний день характеризует аномальное содержание солей.[121] Например, в настоящее время засоленностью поражены 70 – 80% земель бассейна Муррей-Дарлинг, половина земель бассейна Аральского моря, треть земель дельты Нила,[122] 28% территории Соединенных Штатов и четверть Пакистана и Узбекистана.[123]

Осушение торфяников связано с различными формами деградации земель.[124] В некоторых частях Центральной Азии и Китая это привело к опустыниванию бывших торфяных ландшафтов, значительной эрозии почв из-за чрезмерного выпаса скота и последующему уменьшению продуктивности почвы. Осушение торфяников неизбежно вызывает уплотнение почвы и окисление углерода в торфе, что приводит к оседанию почвы, представляющему значительный риск в долинах. Поскольку основание торфяного слоя часто располагается на уровне или ниже уровня моря/реки, оседание почв со временем приводит к повышению риска наводнений. Во многих странах подобные последствия уменьшаются строительством дамб и насосных систем, однако, учитывая неизбежное продолжение оседания осушенных торфяных почв, целые ландшафты могут в конечном итоге оказаться ниже уровня моря. Например, половина территории Нидерландов находится ниже уровня моря именно в результате продолжавшегося столетиями осушения торфяников. Это приводит к значительным рискам с точки зрения безопасности воды и вторжения морских вод, а также к высоким издержкам на содержание инфраструктуры (прогнозируемая сумма составляет 25 млрд. евро в 2010 – 2050 гг. на оставшиеся 200 000 га голландских торфяников).[125] Тогда как Нидерланды уже давно достигли критической точки, в Юго-Восточной Азии осушение торфяников в долинах началось лишь в 1970-х годах. В тропиках осушение торфяников приводит к высоким выбросам CO_2,[126] что вызывает оседание почвы от 3 до 6 см в год.[127] Тем не менее, высокие уровни и сезонный характер осадков могут исключить вариант смягчения последствий с помощью дамб и насосных систем. Длительное осушение может привести к разрушительным последствиям, включая риски массового затопления и сокращение площади продуктивных земель.[128]

Деградация земель напрямую влияет на безопасность водных ресурсов за счет снижения общего качества воды: от высоких уровней содержания соли в подземных водах до возрастающего потока взвешенных твердых частиц и агрохимикатов как в поверхностных, так и подземных водах. Потеря растительности и последующая эрозия почв вокруг водохранилищ могут привести к быстрому заилению и резкому сокращению ресурсов водоемов и гидроэлектростанций.[129] Эрозия может полностью изменить существующий ландшафт, создавая овраги и песчаные наносы. Она также косвенно снижает продуктивность сельского хозяйства. Оголенная, деградированная и размытая почва обладает меньшей способностью удерживать влагу, будь то аккумулирование на протяжении года или поглощение внезапных излишков. Снижение водоудерживающей способности почвы означает повышенный риск наводнений после сильных дождей.[130]

© Хавьер Педро Фернандес Ферреpас (Javier Pedro Fernandez Ferreras)

6. Последствия изменения климата

Управление водно-болотными угодьями оказывает значительное влияние на климат. В целом, водно-болотные угодья, как правило, являются поглотителями углерода и азота, но могут быть источниками других парниковых газов, таких как метан.[131] Баланс определяет, является ли водно-болотное угодье источником или поглотителем парниковых газов.[132] В то время как необходимо проявлять осторожность при оценке того, насколько водно-болотные угодья способствуют уменьшению последствий изменения климата путем поглощения углерода,[133] очевидно, что способность аккумулировать углерод позволяет создать значительные мировые запасы этого газа в почве. Прибрежные водно-болотные угодья играют крайне важную роль в поглощении двуокиси углерода и ее хранении в отложениях, создавая значительные запасы этого газа. На глобальном уровне водно-болотные угодья содержат непропорционально большое количество общего почвенного углерода Земли — примерно 30% от общего количества, несмотря на то, что такие угодья занимают лишь 5 – 8% площади суши.[134] С другой стороны, осушение или сжигание торфяных болот увеличивает выбросы углерода и дыма,[135] как и осушение или разрушение других видов водно-болотных угодий. Разрушение водно-болотных угодий в конечном итоге приводит к выбросу углерода,[136] а неадекватное управление водно-болотными угодьями также может привести к большим потерям этого газа,[137]однако спорным остается суммарное количество запасов углерода, содержащихся в водно-болотных угодьях.[138]

В то время как торфяники покрывают лишь около 3% поверхности суши, они содержат крупнейший запас углерода на планете, сопоставимый с запасом во всех остальных сухопутных биомах,[139] особенно в арктической тундре. Нетронутые торфяники содержат до 1300 тонн углерода на гектар,[140] а мировой запас углерода торфяников оценивается в 550 гигатонн.[141] К основным местам залегания торфа относятся тропические леса в Юго-Восточной Азии и тундра в России, Канаде, Аляске и Скандинавии. Осушение торфяников для создания плантаций масличных пальм, приводит к резкому росту выбросов углерода.[142] Согласно оценкам, в результате преобразования торфяников ежегодные потери углерода уже составляют 0,5 – 0,8 гигатонн, преимущественно в тропиках.[143] К примеру, ежегодные выбросы углерода из осушенного торфа в Юго-Восточной Азии составляли 355 – 874 млн. тонн в начале 20 века, еще 1400 млн. тонн выбросов происходило ежегодно из-за торфяных пожаров, главным образом в Индонезии, в период с 1997 по 2006 год.[144] В то время как потери углерода в арктической тундре в настоящее время значительно снизились, они могут превысить потери в тропиках, поскольку потепление приводит к таянию льда и высыханию торфа. Некоторые участки на Аляске уже превратились из поглотителей в источники углерода,[145] и существуют опасения относительного внезапного выброса углерода в Арктике.[146]

Опыт Канады показал, что потери CO_2 на территориях торфодобычи можно замедлить за счет восстановления и возобновление растительного покрова.[147]

После промышленной добычи торфа в прошлом происходит успешное восстановление торфяников в Ирландии.[148] Аналогичные положительные результаты зарегистрированы в Юго-Восточной Азии, России, Аргентине и Гималаях.[149] Активизируются усилия по восстановлению прибрежных водно-болотных угодий (солончаковых болот, мангровых зарослей, растительного слоя морского дна) с целью возобновления их естественной способности связывать углерод. Например, в настоящее время происходит крупномасштабное восстановление мангровых лесов в таких странах, как Кения, Танзания, Шри-Ланка и Индия.[150]

7. Сокращение биологического разнообразия и связанных с водой услуг экосистем

Несмотря на усилия по сохранению и разумному использованию,[151] с 1900 года утрачено приблизительно 64 – 71% водно-болотных угодий,[152] а ряд других подвергся деградации из-за загрязнения, нарушений водостока, чрезмерной эксплуатации земель и нашествия чужеродных видов.[153] Водно-болотные угодья исчезают быстрее, а масштаб потерь предоставляемых ими экосистемных услуг гораздо значительнее, чем в случае других экосистем.[154] В 1970 – 2008 гг. число естественных водно-болотных угодий сократилось во всем мире в среднем приблизительно на 30%.[155]

Сокращение водно-болотных угодий происходит быстрее остальных экосистем при непропорциональном сокращении экосистемных услуг.

Эти потери впоследствии сказываются на биологическом разнообразии пресноводных ресурсов, а также на здоровье и продуктивности прилегающих земель и окрестных общин. Открытые пресноводные водоемы занимают менее одного процента поверхности Земли, но содержат до 12% всех известных видов, в том числе треть всех видов позвоночных.[157] Биологическое разнообразие пресноводных ресурсов сокращается,[158] и каждый третий вид пресноводных рыб[159] и 30% земноводных[160] находятся под угрозой исчезновения. Например, среди всех известных видов рыб Амазонки 39% приходится на сомов, существование которых зависит от целостности важных нерестовых акваторий в верхнем бассейне реки,[161] однако их выживание находится под угрозой ввиду планов по возведению плотин на крупных реках[162] и чрезмерной эксплуатации.[163] Помимо выживании видов, рыболовство является важным источником продовольствия и доходов, причем потребление рыбы на душу населения в среднем составляет 94 кг в год для прибрежных сообществ.[164]Анализ 145 крупных водосборных бассейнов показал, что самыми деградированными обычно являются бассейны с наивысшей биологической ценностью.[165] Под угрозой также находятся другие пресноводные группы. Многие моллюски имеют узкий ареал распространения и таким образом высокоуязвимы; из более чем 1200 видов родниковых моллюсков с прозрачной раковиной (*Hydrobiidae*) 182 занесены в Красную книгу МСОП как находящиеся под угрозой исчезновения.[166]

При деградации и уничтожении пресных вод и их биологического разнообразия также утрачиваются соответствующие экосистемные услуги. Эти услуги обычно представляют большую ценность для общества, чем промышленное использование, которое их заменяет,[167] так как выгоды часто распределяются между многими людьми, а прибыль от преобразований и производства, как правило, сосредотачивается в руках немногих. Экосистемные услуги зачастую остаются незамеченными до тех пор, пока они не исчезнут, а их восстановление, даже если оно возможно, является почти всегда затратным по сравнению прежде всего с защитой функционирующей экосистемы. В Таблице 8.1 представлены некоторые основные экосистемные услуги, связанные с водой

Блок 8.3. Рамсарская конвенция

Рамсарская конвенция по водно-болотным угодьям, подписанная в Рамсаре (Иран) в 1971 году, является международным соглашением, направленным на «*сохранение и рациональное использование водно-болотных угодий и их ресурсов*». Участники Конвенции обязуются объявить по крайней мере одно водно-болотное угодье (обычно указывается больше) на своей территории *водно-болотным угодьем международного значения*. В то время как ко всем Рамсарские угодьям применяются принципы устойчивого управления, некоторые также являются официальными охраняемыми районами, а другие могут использоваться в различных целях. Рамсарская конвенция предоставляет технические рекомендации по управлению и оценке водно-болотных угодий, тесно сотрудничая с МСОП и другими международными организациями с целью содействия рациональному управлению мировыми водно-болотными угодьями.

Непременным элементом миссии Рамсарской конвенция является содействие разумному использованию водно-болотных угодий, при этом разумное использование определяется как «поддержание экологического характера, достигаемое посредством применения экосистемного подхода в контексте устойчивого развития». Разумное использование — это не что иное, как рациональное использование водно-болотных угодий и их услуг на благо человечества и природы. Практические аспекты включают в себя принятие государственной политики в отношении водно-болотных угодий; обеспечение инвентаризации, мониторинг, исследования, обучение, информирование общественности; а также разработку планов комплексного управления в пределах водно-болотных угодий.[156]

Таблица 8.1. Типология экосистемных услуг водно-болотных угодий[168]

Услуги	Экосистемные услуги	Пример
Поддерживающие	Производство первичной продукции	Фотосинтез в водных растениях и водно-болотной растительности.
	Круговорот питательных веществ	Наивысшая общая экономическая ценность всех экосистемных услуг водно-болотных угодий,[169] неосознаваемая в настоящее время.
	Сохранение биологического разнообразия	В Амазонке обитают около 6000 – 8000 видов рыб,[170] а в Меконге – 850 видов рыб.[171]
	Функции воспроизведения	Районы нереста водных видов, важных как для коммерческих целей, так и для жизнеобеспечения.
	Почвообразование	Осадки в Меконге обеспечивают более 50% производства основных продуктов питания во Вьетнаме.[172]
	Продуктивность морской среды	Осадочные отложения, переносимые реками, также поддерживают прибрежные экосистемы. Ежегодно 500 – 1 000 млн. тонн ила Амазонки и Ориноко[173] создают огромные илистые банки,[174] которые обеспечивают рост мангровых зарослей[175] и поддерживают высокопроизводительные рыбные промыслы.[176]
	Пополнение запасов водоносных пластов	Стоячие водно-болотные угодья являются ключевым ресурсом для пополнения запасов водоносных пластов, что зачастую является наиболее экономичным вариантом стабилизации и обеспечения водой.[177]
Обеспечивающие	Вылов рыбы и прочих видов	Вылов пресноводной рыбы в Африке превышает 2,5 млн. тонн в год;[178] вылов в дельте реки Нигер составляет 40 – 80 тыс. т/год.[179] Меконг обеспечивает вылов в объеме 2 млн. тонн в год;[180] являясь источником 80% животного белка в Камбодже.[181] В настоящее время рыболовство находится под угрозой: 4 из 11 видов, вылавливаемых в коммерческих целях в североамериканских Великих Озерах, уже вымерли.[182]
	Сбор растений	Сбор многих пресноводных видов растений осуществляется для производства продуктов питания и кормов.[183]
	Сбор материалов	Папирус, тростник, камыш и т. д. используются для кровельных работ, производства инструментов, ограждений и т. д.
	Выпас скота	Водно-болотные угодья зачастую являются высокопродуктивными пастбищами, используемыми животноводами и скотоводами длясезонного выпаса.
	Растениеводство	Богатые торфяные почвы обеспечивают продуктивность сельскохозяйственного производства.
	Источник энергии	Вырабатываемый гидроэлектростанциями ток является важным источником энергии. В Руанде папирус прессуется в топливные брикеты. В некоторых частях Ирландии и Шотландии добываемый торф по-прежнему является важным бытовым топливом.
	Сырьевые материалы	Древесное топливо и строительный лесоматериал собираются в прибрежных лесах.
	Лекарственные средства	Пресноводные виды растений часто используются в качестве лекарственных средств.
Регулирующие	Наводнения	Водно-болотные угодья поглощают паводковые воды, тем самым снижая риск возникновения бедствий.[184]
	Защита от штормов	Прибрежные леса и сезонные водно-болотные угодья сдерживают подтопления и защищают расположенные ниже сообщества.[185]
	Поглощение углерода	Водно-болотные угодья и особенно торфяники являются крупнейшим хранилищем углерода на планете,[186] и содержат до 1300 тонн углерода на гектар.[187]
	Стабилизация климата	Испарение от озер помогает смягчить экстремальные климатические условия.
	Водоснабжение	Некоторые виды лесов, в том числе влажные горные леса,[188,189] а также некоторые старые эвкалиптовые леса[190] увеличивают чистый приток воды.
	Очистка воды	Лесные водосборы и водно-болотные угодья обеспечивают чистоту воды, уменьшая потребность в очистке.[191]
Культурные	Рекреационные	Водно-болотные угодья могут быть туристической достопримечательностью: дельта р. Окаванго в Ботсване привлекает 120 000 туристов в год.[192]
	Культурные и творческие	Озера и реки вдохновляют художников, музыкантов и писателей.
	Духовные	Многие водно-болотные угодья имеют местную духовную ценность или являются значимыми местами паломничества, как например, священные высокогорные озера Индии.[193]
	Научно-образовательные	Пресные воды являются важными исследовательскими и образовательными центрами.

КОСВЕННЫЕ ПРИЧИНЫ ОТСУТСТВИЯ ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В вышеприведенном разделе были рассмотрены некоторые прямые причины отсутствия водной безопасности: неудовлетворительное управление оросительными системами и животноводством, потребности промышленного и энергетического секторов, а также городского населения, загрязнение, строительство плотин, изменение климата и рост населения. Ниже мы обсудим некоторые косвенные причины:

1. Фрагментарный подход к управлению водными ресурсами
2. Стратегии и бизнес-модели, требующие значительных затрат воды
3. Системы торговли и ценообразования, создающие ложные стимулы
4. Демографические изменения и быстрая урбанизация
5. Изменение климата

1. Фрагментарный подход к управлению водными ресурсами

Односекторный подход к использованию воды без комплексной политики использования водных ресурсов[194] часто приводит к серьезным негативным последствиям. Ярким примером такого подхода является Аральское море в Центральной Азии, размер которого к 2016 году уменьшился в 10 раз по сравнению с 1961 годом; причиной этого является отвод основного объема воды из двух притоков на ирригационные нужды.[195] За последние сорок лет площадь озера Чад в Африке сократилась более чем на 90% в результате засух и ирригации.[196] В свою очередь, преимущества комплексных или «взаимозависимых» подходов к управлению водными ресурсами известны уже давно и подтверждаются несколькими наглядными примерами.[197]

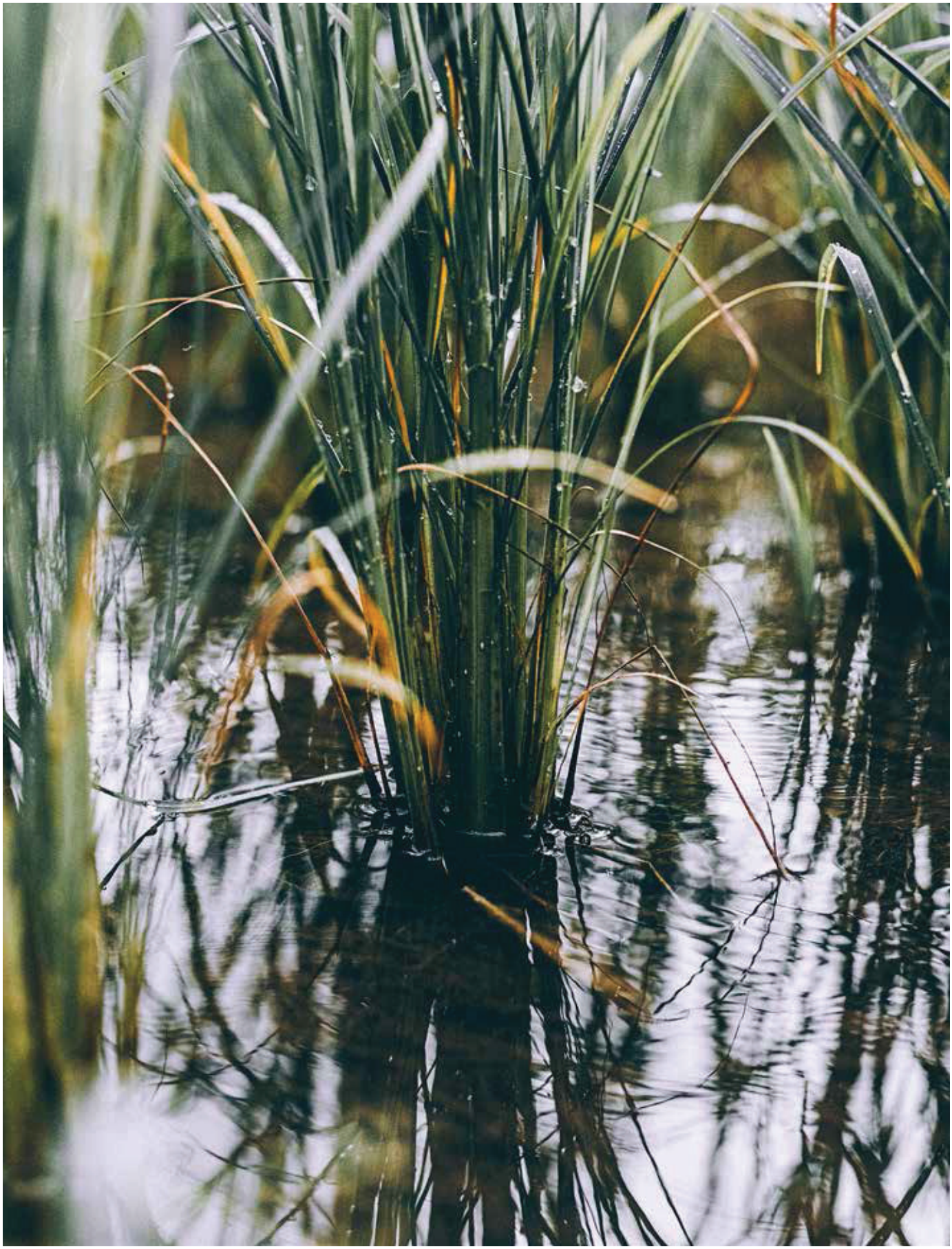
Несмотря на это, сотрудничество в относительно больших масштабах встречается редко. Планирование использования водных ресурсов (если оно вообще существует) демонстрирует тенденцию к фрагментарному или обособленному подходу, в котором разные секторы (и даже разные люди в пределах одного сектора) больше конкурируют, чем сотрудничают в ущерб общему благу.

2. Стратегии и бизнес-модели, требующие значительных затрат воды

Упор на монокультуры в современном сельском хозяйстве приводит к увеличению объемов использования и воздействия на воду (см. Главу 7). Например, за последние 50 лет площадь, отведенная под соевые бобы, возросла в десять раз и составила более 1 млн. кв. км, что равно площади Франции, Германии, Бельгии и Нидерландов вместе взятых.[199] В основном рост происходил в Южной Америке, где производство увеличилось на 123% с 1996 по 2004 год.[200] К 2050 году прогнозируется дальнейший рост на 140% до 515 миллионов тонн.[201] В Южной Америке соевые бобы выращиваются преимущественно в богарных условиях, а в остальных странах – на орошаемых землях.[202] Масштабный переход к интенсивному выращиванию соевых бобов, вероятно, продолжит снижать объем доступной воды.[203] На качество воды также влияют эрозия почв и остатки агрохимикатов в результате интенсивного использования пестицидов, что документально подтверждается соевыми полями Аргентины.[204] В настоящее время производство сои — это многомиллиардный бизнес, реализующий высокоценные продукты — например, корма для животных. Альтернативные производственные системы, которые используют водные ресурсы более рационально, не могут экономически конкурировать с производством сои, особенно когда стоимость воды занижена.

Остальные культуры также создают нагрузки на гидрологические системы. Произведенный в Таиланде анализ показал, что наибольшее количество воды потребляется при производстве риса (необрушенного), за которым следуют маис, сахарный тростник и маниока. Производство второго урожая риса создает дополнительную нагрузку на некоторые водоразделы.[205] Осушение торфяников для выпаса скота и сельхозпроизводства снижают их водоудерживающую способность, что приводит к повышению дефицита воды в засушливые периоды и подъему уровня воды во влажные периоды.[206]

Увеличение импорта сельскохозяйственной продукции рекомендовалось как одно из решений для стран с дефицитом воды. Эта стратегия может обеспечить рациональное решение, если культуры выращиваются в богатых водой странах. Но если они истощают дефицитные ресурсы, ухудшают положение бедных общин, приводят в упадок земли и усиливают недостаток воды, их следует считать экологически и социально нерациональными.



© Питер Херши (Peter Hershey)

Блок 8.4. Комплексное управление земельными и водными ресурсами на Северо-Китайской равнине

Интенсивное орошение в северном Китае резко сократило речной сток в бассейне реки Хай и серьезно истощило водоносные пласты в результате использовании насосов в системах орошения. Правительство Китая выявило необходимость принятия срочных мер, направленных на восстановление водных ресурсов и сокращение их чрезмерной эксплуатации. Проект Глобального экологического фонда (ГЭФ) «Воды мира» поддержал широкомасштабную инициативу по восстановлению, выделив три ключевых процесса комплексного управления водными ресурсами: (1) создание национальных межведомственных комитетов; (2) анализ состояния бассейна реки или водосборного бассейна, водопользования в различных отраслях, конфликтов и оценка перспектив; и (3) разработка стратегической программы экономических, правовых и институциональных реформ и инвестиций с участием всех заинтересованных сторон из различных отраслей с целью установления баланса между конкурирующими направлениями водопользования, обсуждения компромиссов и сотрудничества для совместных действий.[198]

Семилетний проект КУВР по бассейну реки Хай положил начало реформам в области управления водными и земельными ресурсами с целью улучшения качества воды в реке и водоносных пластах, а также сокращения использования воды в целях орошения. Проект внедрил более высокие цены на поливную воду; новую систему прав водопользования/норм водопотребления в соответствии с законодательством страны, основанную на оценках эвапотранспирации (ЭТ), а не на стандартных количествах забора воды; использование спутниковых технологий, способствующих выдаче и обеспечению суточных норм водопотребления; и другие водосберегающие технологии орошения с целью восстановления баланса продовольственной и водной безопасности и достижения экологических целей в бассейне. Проект предусматривал меры по улучшению качества воды, повышению компетентности комиссии по водным ресурсам бассейна и использованию банковских карт отдельными фермерами. С целью сокращения потерь воды применяются ограничения на использование насосов для орошения: после того, как хозяйство израсходует лимит воды, ее подача прекращается. В расчетных моделях использовались спутниковые данные о примерной ЭТ (в масштабе 30 на 30 метров) для определения сокращенных лимитов для ассоциаций сельскохозяйственных водопользователей, которые распределяли квоты среди более 100 000 фермерских домовладений. Службы по распространению знаний и опыта также предоставили рекомендации по практическим методам экономии зеленой воды на уровне фермерских хозяйств, лучшие методы управления (мульчирование, структура посевных площадей, технологии капельного орошения) и выращивание взаимозаменяемых культур, повышающих доходы фермеров. Спустя семь лет доход на душу населения увеличился на 193%, эффективность использования водных ресурсов повысилась на 82%, а потребность в воде снизилась на 27%. Такая экономия воды помогла стабилизировать водоносный пласт и выделить больше воды для функционирования экосистем.

Успех проекта побудил правительство Китая ввести систему, ведения дистанционных измерений и определения прав водопользования/норм водопотребления для всех новых потребителей воды. Это привело к использованию системы распределения воды на основе ЭТ для всего бассейна озера Тарим и следующего проекта, финансируемого ГЭФ/Всемирным банком/Китаем, по всей системе бассейна реки Хай. Другими достижениями проекта стали официальные соглашения между министерствами, которые не сотрудничали ранее, и система управления знаниями, созданная в ходе реорганизации комиссии по восстановлению бассейна. И наконец, постановка задач проекта, соответствующих политике ГЭФ, с течением времени оказалась важной в измерении и оценке прогресса.

3. Системы торговли и ценообразования, создающие ложные стимулы

При захвате земель также происходит захват водных ресурсов, когда (как это случается все чаще) масштабные приобретения земли иностранными инвесторами включают в себя гарантии на воду.

Захват земель или масштабные приобретения земель для экспорта продукции сельского хозяйства обсуждается в Главе 5, но одним из важных сопутствующих вопросов является экспортная стоимость сельскохозяйственной продукции в форме «виртуальной воды» (скрытые водные ресурсы, израсходованная на производство продовольствия, подлежащего экспорту). Захват земель также связан с захватом водных ресурсов,[207] когда, как это все чаще имеет место, масштабные приобретения земли иностранными инвесторами включают в себя гарантии на воду.

Виртуальная торговля водой растет, и этот торговый баланс между странами меняется с течением времени. Китай, который до недавнего времени только экспортировал виртуальную воду, связанную с торговлей непищевыми продуктами растительного и животного происхождения, используемыми в производстве, теперь является крупнейшим в мире импортером виртуальной воды для этих же целей.[208] Этот процесс может привести к вытеснению мелких фермеров, ускоренной деградации земель и злоупотреблению водными ресурсами наряду с возникновением конфликтов в низовьях или водоносных пластах, особенно в тех случаях, когда слабые институты не могут или не хотят регулировать использование воды. Корпоративный контроль воды является все более противоречивым и политизированным вопросом.[209] Ценовые политики, которые реализуются крупнейшими компаниями розничной торговли продуктами питания с целью снижения цен на продовольствие для потребителей, ограничивают прибыль фермеров и поощряют к нерациональному использованию воды, например, интенсивной ирригации.

4. Демографические изменения и урбанизация

Растущее население признано одним из факторов, часто создающих нагрузку на водные ресурсы.[210] Но столь же важной, как и общая численность, является проблема демографических изменений: постепенных — вследствие урбанизации и экономической миграции, либо быстрых изменений численности населения — в результате стихийных бедствий, войн или внутренних конфликтов. В настоящее время урбанизация является глобальным явлением. Почти половина городских жителей мира живет в относительно небольших поселениях с численностью населения менее 500 000 человек, а примерно каждый восьмой проживает в агломерациях (число которых достигает 28) с населением более 10 миллионов человек. До недавнего времени большинство крупнейших городов мира располагалось на севере, но сегодня все больше сосредотачиваются на юге. Самыми быстрорастущими населенными пунктами являются средние по величине города и города с населением менее миллиона человек, расположенные в Азии и Африке.[211]

Африка представляет собой яркий пример воздействия урбанизации на водные ресурсы. В 1960 году в Африке насчитывалось лишь 11 городов с более чем полумиллионным населением и всего пять в странах Африки к югу от Сахары, где преобладали сельские поселения. К 2015 году к югу от Сахары насчитывалось 84 города, включая мегаполисы, такие как Лагос с населением более 13 миллионов человек. К 2030 году это число, вероятно, превысит 140.[212] Текущие оценки указывают на то, что число новых городских жителей Африки увеличится более чем на 300 миллионов в период с 2000 по 2030 год, что превышает рост сельского населения более чем в два раза.[213] Водно-болотные угодья и водоразделы предоставляют городскому населению как обеспечивающие услуги (например, продовольствие, вода, сырье), так и регулирующие (например, борьба с наводнениями и стабилизация климата). Но во всей Африке урбанизация вторгается в оба вида услуг — либо напрямую путем неконтролируемого роста городов за счет осушаемых водно-болотных угодий, либо косвенно, когда растущее население увеличивает нагрузку на природные ресурсы и выброс загрязняющих веществ, а также привнося в экосистему чужеродные виды и требуя все большего количества воды для сельского хозяйства, промышленности и бытового потребления.

Блок 8.5. Вода и африканские города

Стремительная урбанизация многих африканских городов и их окрестностей увеличивает нагрузку на расположенные поблизости водные ресурсы именно в то время, когда экосистемные услуги наиболее востребованы. Например, стихийный рост городов и растущая садоводческая отрасль угрожают водно-болотным угодьям Лютембе Бэй в окрестностях Кампалы в Уганде. Лютембе Бэй, которое является Рамсарским угодьем, почти полностью отрезано от остальной части озера Виктория папирусным островом. Топи фильтруют наносы, отложения и избыточные питательные вещества поверхностных стоков, бытовые стоки и промышленные сточные воды. Однако, сельское хозяйство и садоводство стремительно наступают на водно-болотные угодья, некоторую часть которых незаконно заняла в 2013 году садоводческая фирма.[214] Аналогичным образом, водно-болотные угодья в окрестностях Хараре являются источником воды для половины населения страны, восполняя уровень грунтовых вод, фильтруя и очищая воду (тем самым снижая затраты на очистку), предотвращая заиливание и подтопление и являясь ценным поглотителем углерода. Водно-болотные угодья также являются важным орнитологическим заповедником и Рамсарским угодьем. Тем не менее, деградация гидрологии в результате трансформации угодий, неформального сельскохозяйственной деятельности, загрязнения удобрениями и широкого использования коммерческих скважин, привела к падению уровня грунтовых вод в среднем на 15 – 30 метров за последние 15 лет. Наращивание потенциала и повышение информированности специалистов городского планирования и государственных служащих в вопросе важности охраны водно-болотных угодий являются основным приоритетом.[215]

5. Изменение климата

Быстрое изменение климата усугубляет почти все аспекты отсутствия безопасности в сфере водоснабжения, изложенные выше. Изменение климата будет и далее оказывать множественное воздействие на водоснабжение — такое, как таяние ледников и ледниковых шапок, изменение количества снеговых и дождевых осадков, все более неустойчивые погодные и экстремальные климатические условия. Общий дефицит воды, вероятно, возрастет.[216] Согласно выводам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (подкрепленным надежными доказательствами и взаимным согласием), изменение климата, вероятно, приведет к сокращению возобновляемых ресурсов поверхностных и подземных вод в большинстве засушливых субтропических регионов. Однако в более высоких широтах обеспеченность водой, вероятно, улучшится. Состав, структура и функции многих водно-болотных угодий также изменятся и многие пресноводные виды будут подвержены высокому риску исчезновения.[217]

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ГЛОБАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Необходимо разработать новые подходы к управлению водными ресурсами.[218] Цель устойчивого развития (ЦУР) 6 в области водоснабжения и санитарии отводит особое значение улучшению качества воды (цель 6.3), а также защите и восстановлению связанных с водой экосистем (цель 6.6). Улучшение управления водными ресурсами является важнейшим компонентом в ЦУР 2 в области продовольственной безопасности и ЦУР 15 по борьбе с опустыниванием, прекращению и обращению вспять процесса деградации земель, а также прекращению процесса потери биологического разнообразия. Такой взаимосвязанный подход придает первостепенное значение эффективности системы, а не производительности отдельных секторов, за счет уменьшения компромиссов и создания дополнительных выгод, которые перевешивают операционные издержки, связанные с более сильной интеграцией в секторах. Подобные достижения могли бы ускорить переход к рациональному развитию и побудили бы правительства, частный сектор и гражданское общество повысить безопасность водных ресурсов.[219]

Максимальное повышение безопасности водных ресурсов не является ни чисто техническим решением, ни обязанностью лишь одного сектора. Потребуется принятие ряда ответных мер, касающихся обеспечения и качества воды для использования человеком, управления земельными ресурсами, в частности почвами, защиты и, при необходимости, восстановления водно-болотных угодий и водоразделов, и регулирования потоков воды и доступности в долгосрочной перспективе.[220] Ключевыми элементами комплексного подхода к управлению водными ресурсами являются:

Максимальное повышение безопасности водных ресурсов не является ни чисто техническим решением, ни обязанностью лишь одного отдельно взятого сектора.

- **управление водными ресурсами посредством устойчивого управления земельными ресурсами, особенно в сельском хозяйстве;**
- **защита и восстановление природных экосистем, для обеспечения товаров и услуг, связанных с водными ресурсами;**
- **обеспечение гармоничного развития городов;**
- **реформа политики на местном, национальном и международном уровнях.**

Связанными с водными ресурсами экосистемами невозможно управлять изолированно, поскольку водохранилища или водоразделы связаны через обширные территории, а глобальный оборот воды функционирует как единая система. Комплексное управление водными ресурсами (КУВР)[221] способствует скоординированной разработке и управлению водными, земельными и смежными ресурсами с целью максимального повышения экономического и социального благосостояния на справедливой основе без ущерба для функционирования и рациональности рабочих ландшафтов.

Управление водными ресурсами посредством устойчивого управления земельными ресурсами

Орошение сопряжено с высокими расходами на воду, но и выгоды от производства сельскохозяйственных культур весьма велики. В Соединенных Штатах орошаются 7,5% пахотных и пастбищных земель, которые дают 40% сельскохозяйственных прибылей и на которые приходится 80 – 90% водопотребления.[222] Максимальное повышение эффективности ирригационных технологий и их правильное применение, безусловно, являются приоритетом, и серьезное внимание должно уделяться всем аспектам орошения от поиска источников и распределения до эксплуатации. Даже небольшое повышение продуктивности системы «вода — урожай» в районах с ограниченным количеством осадков будет иметь важное значение как для повышения производства продовольствия, так и доступности воды.[223] В дополнение к этому существует ряд проверенных, экономически эффективных методов управления земельными ресурсами, которые уменьшают отходы и обеспечивают рациональное использование воды в сельском хозяйстве, принося дополнительную пользу окружающей среде и повышая продуктивность в долгосрочной перспективе (см. Таблицу 8.2). То, что подобные практики не используется более широко, объясняется такими факторами, как недостаток рабочей силы или инвестиций, а также наличием ложных стимулов — таких, как субсидии и правовые нормы, которые не поощряют эффективное использование. В некоторых странах культурные и религиозные традиции также играют определенную роль, например, отказ использовать серую воду.

Хотя попытки применить КУВР предпринимались в течении десятилетий, они зачастую не имели практического успеха из-за укоренившихся отраслевых интересов, политических и управленческих барьеров и неспособности создать чувство коллективной ответственности. Руководители в сфере водопользования традиционно управляли водными ресурсами изолированно, тогда как эффективность во многом зависит и от устойчивого управления земельными ресурсами.[243] Более широкая концепция комплексного управления земельными и водными ресурсами получает все большее распространение по всему миру.

Один из нескольких примеров предоставляет семилетний проект КУВР по бассейну реки Хай в Китае, положивший начало реформам в области управления водными и земельными ресурсами с целью улучшения качества воды в реке и водоносных пластах, а также сокращения использования воды для орошения.[245] Проект наглядно демонстрирует некоторые основные элементы национальной программы защиты и рационального использования водных ресурсов, включая центральную организацию с исчерпывающим законодательством в отношении водных ресурсов; планирование земле- и водопользования на уровне региона и водораздела; нормы для принятия решений на основе долгосрочного водоснабжения и водопотребления; соответствующие услуги по исследованию, демонстрации и распространению знаний и опыта; систему управления спросом; контроль качества оборудования; продвижение ассоциаций водопользователей; и, при необходимости, земельную реформу и сельскохозяйственные кредиты для орошения.

Таблица 8.2. Некоторые примеры водосберегающих подходов в сельском хозяйстве

Методика	Описание
Повышение доступности/эффективности использования воды	
Модернизация инфраструктуры	Плохо сконструированные ирригационные каналы и протекающие канавы, вызывающие заболачивание и снижение урожайности. Использование труб является более эффективным, но и более затратным.
Модернизированные ирригационные системы	Сети каналов в земляном русле являются наименее эффективными, за ними следуют облицованные каналы, напорные трубопроводы, шланговые оросительные системы, дождевальные системы, спринклеры Microjet и капельное орошение: эффективность варьируется от низкой в 40% до 80 – 90%.[224]
Ресурсосберегающее сельское хозяйство	Сочетает минимальную подготовку почвы с использованием покровных культур и севооборотом с целью уменьшения испарения, стока и эрозии[225]
Органическое сельское хозяйство	Система производства, опирающаяся на экологические процессы, биологическое разнообразие и циклы, адаптированные к местным условиям, исключающим использование синтетических удобрений, пестицидов, ГМО, гормонов роста и антибиотиков.[226,227] Существует мнение, что это максимально увеличивает рециркуляцию питательных веществ и содержание органического вещества в почве, тем самым повышая ее водоудерживающую способность[228]
Экологически безопасное сельское хозяйство	Придает особое значение восстановлению экосистемных услуг и биологического разнообразия, усилению поддержки связанных с водой экосистемных услуг
Агролесоводство	Смешивание деревьев и почвенных культур для экономии воды за счет уменьшения испарения и транспирации; в Кении испарение воды из почв сократилось в среднем на 35%.[229]
Коллективное управление орошением	Взаимодействие водопользователей может повысить эффективность — в Новой Зеландии сокращение затрат на 65% было достигнуто за счет контроля на местном уровне.[230]
Сбор дождевой воды	Существуют различные варианты: от каналов, идущих к открытым прудам, до покрытых пленкой гребней и подземных резервуаров.[231]
Контурная вспашка, обваловка и террасы	Традиционно используется для уменьшения эрозии почвы и повышения эффективности водоудержания.[232]
Мульчирование	Снижает потери воды и повышает урожайность; эффективность мульчирования часто ограничивается отсутствием мульчи (например, из-за сжигания или выпаса на пожнивных остатках после сбора урожая).[233]
Сорта раннего посева и высокий коэффициент водопользования	Важны три фактора: сокращение потерь, увеличение биомассы для данной воды, и разбиение большего количества биомассы на собранную продукцию.[234] Например, при раннем высеве семена могут пойти в рост в более прохладное время года при меньшей интенсивности испарения.
Насосы	Могут поднимать грунтовые воды и поддерживать круглогодичную продуктивность в странах с выраженным влажным и сухим сезоном. Ножной насос – это простая и дешевая система.[235]
Сокращение использования воды	Иногда, в определенные периоды, интенсивность полива можно уменьшить без снижения урожайности.[236]
Прогноз погоды в виде текстового сообщения	Использование мобильных телефонов для обмена текстовыми сообщениями с прогнозами погоды во время посадки повысило эффективность использования водных ресурсов в странах бассейна Нигера.[237]
Радиооповещения о дождях или засухах	В Сенегале 915 старост сел и многие радиостанции используют службу, охватывающую до половины населения страны.[238]
Использование серых и сточных вод	Сточные воды, отделенные от промышленных стоков, могут использоваться для орошения; сточные воды 100 000 человек орошают около 1000 га при использовании эффективных систем.[239]
Устройства для измерения влажности почв и растений. Компьютерное моделирование роста культур	Использование этих устройств в Южной Африке сократило потери воды на 20%.[240] Такая технология как точное земледелие, предлагает огромные возможности для повышения эффективности, но требует инвестиций. Подобные методы используются менее чем в 10% американских хозяйств[241]
Снижение потребности в воде	
Выбор сельхозкультур	Отказ от влагоемких сельскохозяйственных культур в засушливых или полузасушливых регионах. Выбор многолетних культур, которые стабилизируют почвы и стимулируют системы микоризы.
Климатически оптимизированное сельское хозяйство	Объединение многих методов и технологий, упомянутых выше, с основным акцентом на устойчивых к изменению климата методах, подходящих к данной местности.
Поддержка земледельцев	
Страхование на базе индекса погодных условий	Банки могут предоставлять финансовые услуги для устойчивых сельскохозяйственных производственно-сбытовых цепочек, учитывающих климатические факторы.[242]

Блок 8.6. Сбор дождевой воды в Бразилии[244]

Северо-восток Бразилии является полузасушливым регионом, характеризующимся острой нехваткой воды и засухами, которые усугубляют экономическую отсталость. Программа сбора дождевой воды «Один миллион цистерн» (P1MC) была запущена общественными организациями региона и нацелена на сельские хозяйства не имеющие надежного источника питьевой воды поблизости. К декабрю 2007 года в рамках программы было мобилизовано 228 541 семей, сооружено 221 514 систем сбора дождевой воды (СДВ) и подготовлено 5848 каменщиков. Задачей P1MC было создание одного миллиона систем СДВ для децентрализованного доступа миллиона семей к питьевой воде. Эта программа оказалась полезной особенно для женщин, поскольку облегчила их повседневный труд по доставке воды. В 2012 году Бразилию поразила одна из самых сильных засух за всю историю наблюдений, ставшая причиной значительных потерь урожая и скота и снизившая количество воды в ряде водохранилищах до критического уровня. Засуха привлекла внимание законодателей, экспертов, международных и местных средств массовой информации, а также населения. С тех пор Бразилия стремится перейти от реагирования на кризисные ситуации к упреждающим подходам, основанным на оценке риска.

Защита и восстановление естественных экосистем

Охраняемые территории различного рода охватывают около 20,7% оставшихся в мире озер и водно-болотных угодий.

Для обеспечения услуг пресноводных экосистем на будущее требуется комплекс согласованных стратегий на уровне водораздела или водосборного бассейна совместно с управлением окружающими экосистемами суши. Хотя инвестиции в необходимую инфраструктуру являются важнейшим компонентом подобного управления,[246] «естественная инфраструктура»[247] или «зеленая инфраструктура»[248] должны играть все возрастающую центральную роль[249] в обеспечении долговременной безопасности водных ресурсов для человеческих сообществ посредством поддержания естественных пресноводных экосистем.[250] Например, лесистые водоразделы и некоторые водно-болотные угодья могут предоставить более чистую воду, чем другие экосистемы.[251] Определенные леса, такие как влажные тропические,[252] увеличивают чистый приток из водосбора. Леса и водно-болотные угодья создают важные механизмы регулирования паводков, предоставляя площади для безопасного рассеяния паводков и блокируя скорость потока, а также обеспечивая другие важные экосистемные услуги.[253]

Признание этой множественной роли означает, что естественные экосистемы реже считаются непродуктивными и пригодными только для эксплуатации человеком, а рассматриваются как важные элементы поддержания здоровья и жизнедеятельности населения. Это признание является первым шагом к достижению долговременной безопасности водных ресурсов.

Поэтому охраняемые районы должны играть центральную роль в подходах к рациональному управлению водосборными бассейнами,[254] хотя конкретные меры защиты пресноводных систем в этом отношении зачастую игнорируются.[255] Различного рода охраняемые территории уже охватывают около 20,7% оставшихся в мире озер и водно-болотных угодий,[256] способствуя формированию стратегий водопользования и обеспечивая масштабную реабилитацию и восстановление. Эти области жизненно важны для поддержания водных хозяйств путем защиты режимов естественного стока, за исключением чужеродных видов, а иногда и обеспечения сохранения всего бассейна.[257] Их более осознанное и централизованное включение в подходы КУВР является важным компонентом, который до сих пор отсутствует во многих национальных водных стратегиях.

Уже существует множество положительных примеров интеграции КУВР, что свидетельствует о ценности комплексного подхода к сохранению и устойчивому развитию. Такие города, как Нью-Йорк[259] и Мельбурн[260] признали защиту и восстановление лесов как поставщиков чистой воды экономически более эффективными, чем инвестиции в новые очистные сооружения. Влажные тропические леса и высокогорные торфяники (парамо) в охраняемых районах, расположенных в окрестностях Кито и Тегусигальпы, обеспечивают поступление высококачественной воды в эти латиноамериканские города.[261] Все большее число стран полагаются на стратегически расположенные охраняемые районы в рамках своих стратегий по

Блок 8.7. Использование очищенных сточных вод

Разумное использование сточных вод для выращивания сельскохозяйственных культур может решить проблему нехватки воды в сельскохозяйственном секторе. В условиях, когда необходимо производить больше продовольствия для постоянно растущего населения, очищенные сточные воды могут быть использованы фермерами либо непосредственно для орошения, либо косвенно, путем восполнения водоносных пластов. В Тунисе сточные воды широко используются в проектах агролесничества, поддерживая как производство древесины, так и усилия по борьбе с опустыниванием. В центральной части Мексики городские сточные воды уже давно используются для орошения сельскохозяйственных культур. В прошлом, экологические процессы помогали снижать риски для здоровья. Совсем недавно в систему были введены водоочистные сооружения и ограничения на сельскохозяйственные культуры (ряд культур можно безопасно выращивать с использованием сточных вод, но для других этот способ не подходит). При надлежащем управлении сточные воды можно безопасно использовать для поддержки растениеводства — непосредственно путем орошения или косвенно путем восполнения водоносных пластов — но для этого требуется тщательное управление рисками для здоровья с помощью надлежащей обработки или надлежащего использования сточных вод.

© Уилл Парсон (Will Parson)/Программа залива Чесапик

снижению риска стихийных бедствий.[262] Защита и восстановление водно-болотных угодий может способствовать сокращению потерь углерода (и, таким образом, уменьшению последствий изменения климата), особенно огромных запасов углерода в торфяниках, которые в настоящее время находятся под угрозой.[263]

Благодаря политической воле и участию заинтересованных сторон, создание и управление охраняемых районов — это относительно эффективная политика или нормативный инструмент по поддержанию естественной инфраструктуры, который обычно включает в себя соответствующую правовую или общепринятую защиту, гарантирующую определенную степень стабильности, наряду с нормативными положениями в области занятости, развития потенциала и управления.[264] Однако ответственность за охрану водных ресурсов в рамках законодательства обычно отделена от ответственности за другие услуги и защиту граждан, а это означает, что перекрестные связи зачастую упускаются на практике.

Блок 8.8. Защита природных лесов для борьбы с наводнениями

Нерегулярный режим распределения осадков в Аргентине вызывает как наводнения, так и засухи. В соответствии с любыми сценариями изменения климата эти экстремальные погодные условия будут существовать и дальше, при этом учащаясь. В настоящее время около четверти страны систематически затопляется, особенно на северо-востоке, где протекают три крупные реки (Парана, Парагвай и Уругвай), расположены обширные низменные равнины и проживает более половины населения. Программа защиты от наводнений предложила экономически эффективные меры в наиболее важных экономических и экологических областях, а также стратегии борьбы с периодическими наводнениями: содержание сооружений для защиты от наводнений, системы раннего предупреждения о наводнениях, природоохранные руководящие принципы для районов, подверженных наводнениям, и планы действий на случай наводнений. Кроме того, в рамках системы защиты от наводнений были взяты под охрану обширные районы естественного леса, что является относительно недорогой альтернативой дорогостоящей инфраструктуре при весомом вкладе в сохранение биологического разнообразия.[258]

Блок 8.9. Водоснабжение охраняемых районов

Большая часть населения мира живет ниже по течению от лесистых водоразделов.[265] Это гарантирует более высокое качество воды, чем водоразделы, где применяются другие виды землепользования, которые обычно предполагают меньший растительный покров (следовательно, более подвержены эрозии почв и осадочным отложениям) и, вероятно, более загрязнены (например, пестицидами, удобрениями или токсичными стоками).[266] Преимущества, предоставляемые лесами, давно признаны компаниями, которые зависят от высококачественной воды: к примеру, компания минеральной воды Perrier-Vittel платит за восстановление лесов в водосборном бассейне во Франции, где она производит забор воды.[267] Одна треть (33 из 105) крупнейших городов мира производит забор значительной части своей питьевой воды непосредственно из охраняемых зон.
По меньшей мере еще пять городов этой группы получают воду из источников, которые берут начало в отдаленных водоразделах, включенных в охраняемые районы. По крайней мере еще восемь получают воду из лесов, экологическим функциям которых придается первостепенное значение при обеспечении водой.[268] Многие зоны, первоначально охраняемые за пейзажные ценности или как прибежище диких животных, теперь также считаются жизненно важными из-за выгод, связанных с водой. Например, Йосемитский национальный парк в Калифорнии (США) обеспечивает Сан-Франциско высококачественной водой; влажные тропические леса национального парка Ла Тигра в Гондурасе обеспечивают более 40% годового водоснабжения столицы Тегусигальпы, и около 80% полуторамиллионного населения Кито получают питьевую воду из двух охраняемых районов.[26]

Схемы платежей за экосистемные услуги (ПЭУ) помогают предлагать людям, живущим в районах-поставщиках водных услуг, достаточные экономические стимулы для поддержания рационально управляемых или естественных экосистем. Один из подходов заключается в сборе платы за пользование с людей и компаний, извлекающих пользу из питьевой воды, что помогает оплачивать услуги водосборного бассейна, предоставляемые управлением охраняемых зон или местными сообществами. Такие схемы ПЭУ все чаще рассматриваются как жизнеспособные экономические модели при условии наличия идентифицируемого источника компенсации (тех, кто готов оплачивать услуги), низких операционных издержек, достоверных информационных потоков и метода справедливого распределения благ среди отдельных лиц.[270]

Но одних охранных мер недостаточно. Мир уже утратил большую часть водно-болотных угодий, поэтому необходимы значительные усилия по восстановлению свободно текущих рек, озер и прудов, подземных водоемов и функционирующих водно-болотных угодий. Вследствие этого восстановление является еще одним важным компонентом управления пресноводными ресурсами для обеспечения экосистемных услуг.[271] Восстановление не означает просто возврат водных ресурсов или снос лишних плотин. Например, оздоровление рек включает в себя «возобновление естественных физических процессов (например, изменение потока и движения наносов), свойств (например, размеры осадков и форма реки) и физических сред обитания речной системы (включая погруженные, наносные и пойменные участки).»[272] Аналогичные принципы могут применяться при восстановлении прибрежных зон для прекращения эрозии с применением подхода «Строим с помощью природы», используя пропускающие плотины для уменьшения энергии волн и стимулирования отложения наносов.[273]

Таким образом, сочетание запланированного восстановления и продуманной защиты водосборных бассейнов может обеспечить большую безопасность водных ресурсов для потребителей, находящихся ниже по течению.

Блок 8.10. Управление водными ресурсами в Южной Африке

ЮАР является одной из 30 самых сухих стран в мире. В то время как среднее потребление воды на душу населения в день составляет 173 литра, жители ЮАР используют в среднем на 62% больше воды.[277] С целью удовлетворения спроса, в последние десятилетия в ЮАР достигнут значительный прогресс в повышении эффективности использования воды. Во-первых, в 1994 году правительство опубликовало «Белую книгу по политике в области водоснабжения и санитарии», которая стала основой для принятия Закона о водоснабжении в 1997 году. Во-вторых, Закон о национальных водных ресурсах (NWA) №36 от 1998 года способствовал внедрению комплексного и децентрализованного подхода к управлению водными ресурсами, в котором подчеркивалась важность экономической эффективности, охраны окружающей среды, равенства и расширения прав и возможностей людей.[278]

Южно-Африканская Республика является одной из немногих стран мира, которая закрепляет основное право на обеспечение достаточным количеством воды в своей Конституции, в которой сказано «каждый человек имеет право на доступ к (...) достаточному количеству пищи и воды». Основываясь на этом, оба закона дополняют друг друга и обеспечивают основу для устойчивого управления водными ресурсами, улучшая и расширяя предоставление услуг. NWA требует от руководителей в сфере водопользования и разработчиков стратегий глубокого понимания экономической ценности воды и различных видов ее использования, а также информационных систем, объединяющих гидрологические, экономические и социальные аспекты водоснабжения и спроса в рамках комплексного управления водными ресурсами (КУВР).[279]

Обеспечение гармоничного развития городов

Хотя города создают исключительные проблемы для обеспечения и управления водными ресурсами, они также предлагают возможность найти инновационные решения путем объединения людей, передачи знаний и опыта, а также поддержки бизнес-групп, занятых схожими видами деятельности. Органам местного самоуправления следует проявлять дальновидность и создавать стимулы для энергичного внедрения улучшений. Эффективные городские транспортные системы, возобновляемые источники энергии и контроль за сточными водами могут сократить потребление воды и количество сточных вод, а информационные кампании в сочетании с ценовыми политиками могут повысить осведомленность потребителей о водных ресурсах.

Устойчивое развитие городов зависит от правильно управляемых экосистем. Деградация может сильно повлиять на жизнь городских жителей. Люди, живущие в порту Момбаса (Кения), полагаются на водные ресурсы холмов Чулу-Хиллс, расположенных на расстоянии в сотню миль. Несмотря на то, что Чулу-Хиллс являются охраняемым районом, низкая эффективность руководства ведет к незаконной вырубке и росту поселений, что угрожает безопасности городского водоснабжения.[274] Зачастую муниципальные власти находят целесообразным вкладывать средства в управление экосистемами, но этого требует инициативы и усилий со стороны государственных служащих в поиске нужных связей и необходимых средств. Политики ценообразования, которые способствуют более эффективному использованию воды, являются единственным универсальным способом решения проблемы дефицита в городах, хотя их относительная эффективность по сравнению с техническими мерами и кампаниями по повышению информированности общественности остается неубедительной.[275] Шаги к более устойчивому городскому планированию описаны в Главе 11.

Политическая реформа

Многие перечисленные выше изменения могут быть достигнуты только при сильной политической поддержке и принятии законодательных мер на государственном уровне на фоне международных соглашений и глобального признания необходимости более тщательного регулирования водных ресурсов во избежание кризиса. Требуются инициативные подходы, ориентированные на поддержание естественной инфраструктуры с целью получения многочисленных преимуществ, более равный доступ к чистым и достаточным запасам воды, и повышение устойчивости гидрологических систем на фоне изменений окружающей среды. Изменение поведения потребителей также является важной частью процесса, и для этого можно использовать кампании по информированию общественности, технологические изменения, регулирование и ценовые политики. Хотя все эти меры могут быть полезны в зависимости от контекста, до сих пор ведутся дискуссии об их относительной эффективности.[276] Принципы деятельности необходимо не только определять, но и по существу разъяснять заинтересованным сторонам, включая правительство, промышленность и сообщества с целью обеспечения полного понимания как важности, так и средств, доступных для достижения безопасного и устойчивого водоснабжения.

© Альберт Гонсалес Фарран (Albert González Farran)

ВЫВОДЫ

Безопасность водоснабжения подрывается, в частности, сочетанием непригодных сельскохозяйственных моделей, быстрыми демографическими изменениями и дестабилизирующими последствиями изменения климата. Неудачный выбор на индивидуальном или государственном уровне усугубляют ситуацию. Страны и общины страдают как от нехватки, так и от избытка воды. Потеря водно-болотных угодий, снижение качества воды и резкие изменения режимов потока основных гидрологических систем приводят к краху пресноводного биологического разнообразия и важнейших экосистемных услуг.

Для повышения безопасности водоснабжения необходим комплексный межотраслевой подход, который наилучшим образом использует связи между методами управления земельными ресурсами и состоянием гидрологических систем. К наиболее важным шагам относятся: более эффективное использование воды в сельском хозяйстве, промышленности, энергетике и домашних хозяйствах; регулирование и законодательство, в том числе ценообразование и распределение в целях повышения эффективности; усиленная защита и восстановление для улучшения общего функционирования экосистем в водоразделе. Технические аспекты, помогающие решить водный кризис, являются по большей части общеизвестными; следующий шаг — применение этих знаний в необходимых масштабах.

БИБЛИОГРАФИЯ

1 McIntosh, R.J. 2005. Ancient Middle Niger: Urbanism and the self-organizing landscape. Cambridge University Press, Cambridge.

2 Cunliffe, B. 2016. By Steppe, Desert and Ocean: The birth of Eurasia. Oxford University Press, Oxford.

3 Ponting, C. 1992. A Green History of the World, Penguin, Middlesex.

4 Jacobson, T. and Adams, R.M. 1958. Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. Science **128**: 1251-1258.

5 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. (ST/ESA/SER.A/366).

6 De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., et al. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services **1**: 50-61.

7 Russi D., ten Brink P., Farmer A., Badura T., Coates D., et al. 2013. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands. IEEP, London and Brussels; Ramsar Secretariat, Gland.

8 McCartney, M., Rebelo, L.M., Senaratna Sellamuttu, S., and de Silva, S. 2010. Wetlands, agriculture and poverty reduction. Research Report 137. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

9 Lopez Gunn, E. and Ramón Llamas, M. 2008. Re-thinking water scarcity: Can science and technology solve the global water crisis? Natural Resources Forum **32**: 228-238.

10 World Economic Forum. 2016. Global Risks 2016. 11th Edition. World Economic Forum within the framework of The Global Competitiveness and Benchmarking Network.

11 http://www.iwra.org/congress/2015/ accessed October 8, 2016.

12 UN World Water Assessment Programme. 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.

13 http://www.unwater.org/sdgs/a-dedicated-water-goal/en/ accessed January 1, 2017.

14 UN Water. 2013. Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief. United Nations University, Hamilton, Canada.

15 UN Water. 2015. http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml, accessed October 5, 2016.

16 Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances **2** (2) e1500323.

17 Brauman, K.A., Richter, B.D., Postel, S., Malsy, M., and Flörke, M. 2016. Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments. Elementa: Science of the Anthropocene **4**: 000083.

18 World Water Council. 2000. World Water Vision, Earthscan, London.

19 Wallace, J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture, Ecosystems and Environment **82**: 105-119.

20 Bogardi, J.J., Dudgeon, D., Lawford, R., Flinkerbusch, E., Meyn, A., et al. 2012. Water security for a planet under pressure: Interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. Current Opinion in Environmental Sustainability **4**: 35-43.

21 Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J., Jägermeyr, J., Kummu, M, et al. 2013. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: Role of environmental flow requirements. Current Opinion in Environmental Sustainability **5**: 551-558.

22 Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell Fetzer, S.E.I., Bennett, E.M., et al. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science **347.** DOI: 10.1126/science.1259855.

23 Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., and Payne, R. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems. World Resources Institute, Washington, DC.

24 Gassert, F., Reig, P., Luo, T., and Maddocks, A. 2013. Aqueduct country and river basin rankings: A weighted aggregation of spatially distinct hydrological indicators. World Resources Institute, Washington, DC.

25 Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2(2), e1500323.

26 Ibid.

27 Micklin, P. 2016. The future Aral Sea: hope and despair. Environmental Earth Sciences **75**: 844. doi:10.1007/s12665-016-5614-5

28 Lemoalle, J., Bader, J.C., Leblanc, M., and Sedick, A. 2012. Recent changes in Lake Chad: Observations, simulations and management options (1973–2011). Global and Planetary Change **80-81**: 247-254.

29 Besada, H. and Werner, K. 2015. An assessment of the effects of Africa's water crisis on food security and management, International Journal of Water Resources Development **31**: 1, 120-133.

30 Joosten, H., Tapio-Bistöm, M-L., and Tol, S. (eds.). 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. FAO, Rome.

31 Poff, N.L., Allan, J.D., Palmer, M.A., Hart, D.D., Richter, B.D., et al. 2003. River flows and water wars: Emerging science for environmental decision making. Biological Sciences Faculty Publications. Paper 233. University of Montana.

32 Wolf, A.T., Yoffe, S.B., and Giordano, M. 2003. International waters: Identifying basins at risk. Water Policy **5**: 29-60.

33 de Villiers, M. 1999. Water Wars: Is the World's Water Running Out? London: Weidenfeld & Nicolson.

34 Shiva, V. 2002. Water Wars. South End Press.

35 Katz, D. 2011. Hydro-political hyperbole: Examining incentives for overemphasizing the risks of water wars. Global Environmental Politics **11** (1): 12-35.

36 Busby, J. 2017. Water and U.S. National Security. Discussion paper. Council on Foreign Relations, Washington, DC.

37 Wolf, A.T., Kramer, A., Carius, A., and Dabelko, G.D. 2005. Managing water conflict and cooperation. In: World Resources Institute. State of the World 2005: Redefining global security. WRI, Washington, DC.

38 Barbut, M. and Alexander, S. 2015. Land degradation as a security threat amplifier: The new global frontier. In: Chabey, I., Frick, M., and Helgeson, J. (eds.) Land Restoration: Reclaiming landscapes for a sustainable future. Elsevier.

39 Famiglietti, J.S. 2014. The global groundwater crisis Nature Climate Change **4**: 945-948.

40 Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M.F.P., and van Beek, L.P.H. 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature **488**: 197-200.

41 Famiglietti, J.S. 2014. Op. cit.

42 Gleeson, T., et al. 2012. Op. cit.

43 Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., et al. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory, Hydrology and Earth System Sciences **14**: 1863-1880, doi:10.5194/hess-14-1863

44 Siebert, S., et al. 2010. Op. cit.

45 MacDonald, A.M., Bonsor, H.C., Dochartaigh, B.É.Ó., and Taylor, R.G. Quantitative maps of groundwater resources in Africa. Environmental Research Letters **7** (2): 24009-24015.

46 Rosegrant, M.W., Ringler, C., and Zhu, T. 2009. Water for agriculture: Maintaining food security under growing scarcity. Annual Review of Environmental Resources **24**: 205-222.

47 FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing systems at risk. FAO and Earthscan, Rome and London.

48 UNEP. 2012. Sustainable Land Use for the 21st Century. United Nations Environment Programme, Nairobi.

49 WWF. Undated. Thirsty Crops. WWF International, Gland, Switzerland.

50 Hoekstra, A. and Chapagain, A.K. 2006. Water footprint of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management **21** (1): 35-48.

51 Eshel, G., Shepon, A., Makov, T., and Milo, R. 2014. Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States, Proceedings of the National Academy of Sciences **111** (33): 11996-12001.

52 Biancalani R. and Avagyan, A. (eds). 2014. Towards climate responsible peatlands management. Mitigation of climate change in agriculture. Series 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

53 Hoekstra, A. and Chapagain, A.K. 2006. Op. Cit.

54 Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC, USA.

55 http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/en/ accessed November 17, 2016.

56 Wojciechowska-Shibuya, M. 2016. The USSGAB Journey. United Nations, New York.

57 Satterthwaite, D. 2016. Missing the Millennium Development Goal targets for water and sanitation in urban areas. Environment and Urbanisation **28**: 99-118.

58 Onda, K., LoBuglio, J., and Bartram, J. 2012. Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. International Journal of Environmental Research and Public Health **9**: 880-894.

59 Bain, R., Cronk, R., Hossain, R., Bonjour, S., Onda, K., et al. 2014. Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review. Tropical Medicine and International Health **19** (8): 917-927.

60 Zingore, S., Mutegi, J., Agesa, B., Tamene, L., and Kihara, J. 2015. Soil degradation in sub-Saharan Africa and crop production options for soil rehabilitation. Better Crops **99** (1): 24-26.

61 UNICEF and World Health Organization. 2015. Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment. Geneva.

62 UN Habitat. 2003. Water and Sanitation in the World's Cities: Local action for global goals. Earthscan, London.

63 Liu, L., Oza, S., Hogan, D., Perin, J., Rudan, I., et al. 2015. Global, regional and national causes of child mortality in 2000-2013, with projections to inform post-2015 priorities: An updated systematic analysis. The Lancet **385**: 430-440.

64 Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C.M., Bekunda, M., Grizzetti, B., et al. 2013. Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

65 Erisman, J.W., Galloway, J.N., Seitzinger, S., Bleeker, A., Dise, N.B., et al. 2013. Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. Philosophical Transactions of the Royal Society B 368 (1621): DOI: 10.1098/rstb.2013.0116.

66 Pretty, J.N. and Conway, G.R. 1988. The Blue Baby Syndrome and Nitrogen Fertilizers: A high risk in the tropics? Gatekeeper Series number 5. International Institute for Environment and Development, London.

67 Smith, V.H., Joye, S.B., and Howarth, R.W. 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and Oceanography **51** (2): 351-355.

68 Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.J. 2015. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. Environmental Science and Technology **49**: 12860-12868.

69 Sharpley, A.N. 2015. The phosphorus paradox: Productive agricultural and water quality. Journal of Environmental Indicators **9**: 3-4.

70 Köhler, H.R. and Triebskorn, R. 2013. Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? Science **341**: 759-765.

71 Beketov, M., Kefford, B.J., Schäfer, R.B., and Liess, M. 2013. Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. Proceedings of the National Academy of Sciences **110** (27): 11039-11043.

72 Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J. (eds.) 2008. Climate Change and Water, Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP, Geneva.

73 Dore, M.H.I. 2005. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? Environment International **31** (8): 1167-1181.

74 Huq, S., Kovats, S., Reid, H., and Satterthwaite, D. 2007. Editorial: Reducing risks to cities from disasters and climate change. Environment and Urbanization **19**: 3.

75 Güneralp, B., Güneralp, I., and Liu, Y. 2015. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. Global Environmental Change **31**: 217-225.

76 van Aalst, M. K. 2006. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, **30**:1, 5-18.

77 Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., McDonnell, Y., McLean, L., and Campbell, J. 2008. Unjust waters: Climate change, flooding and the urban poor in Africa. Environment and Urbanisation **20** (1): 187-205.

78 UN Water. (Undated). Water Hazard Risks: A priority for integrated water resource management. UN Water Policy Brief number 1. United Nations, Geneva.

79 Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2016. The Human Cost of Weather-Related Disasters, CRED and UNISDR, Brussels and Geneva.

80 Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K.R., Kirschbaum, D.B., Gourley, J., et al. 2010. A digitized global flood inventory (1998–2008): Compilation and preliminary results. Natural Hazards Journal **55**: 405-422.

81 International Commission for the Protection of the Danube River. 2008. The Analysis of the Danube Floods 2006: An in depth analysis of the floods on the Danube and its main tributaries in 2006. Vienna.

82 EM-DAT. 2016. Disasters in Numbers 2015. International Disasters Database, Brussels.

83 Sheffield, J., Andreadis, K.M., Wood, E.F., and Lettenmaier, D.P. 2008. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: Severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events. Journal of Climate **22**: 1962-1981.

84 Dai, A. 2011. Drought under global warming: A review. WIREs Climate Change **2**: 45-65.

85 Checchi, F. and Robinson, W.C. 2013. Mortality among populations of southern and central Somalia affected by severe food insecurity and famine during 2010-2012. A study commissioned by FAO/FSNAU and FEWS NET. Rome.

86 EM-DAT. The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED, The Ripple Effect: A fresh approach to reducing drought impacts and building resilience. Bonn, accessed January 13, 2014 and quoted in UNCCD, 2016.

87 Gosling, S.N. and Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change **134**: 371-385.

88 OCHA 2016. El Nino: Overview of impacts, projected humanitarian needs and response, OCHA, March.

89 El Nino and La Nina years and intensities. The Oceanic Nino index. http://ggweather.com/enso/oni.htm.

90 Wanders, N. and Wada, Y. 2014. Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. Journal of Hydrology **526**: 208-220.

91 Marengo, J.A., Borma, L.S., Rodriguez, D.A., Pinho, P., Soares, W.R, et al. 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and human adaptation. American Journal of Climate Change **2**: 87-96.

92 World Bank. 2016. The Cost of Fire. An economic analysis of Indonesia's 2015 fire crisis. World Bank, Washingon, DC.

93 Koplitz,S.N., Mickley, L.J., Marlier, M.E., Buonocore, J.J., Kim, P.S., et al. 2016. Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September–October 2015: Demonstration of a new framework for informing fire management strategies to reduce downwind smoke exposure. Environmental Research Letters **11** (9): doi:10.1088/1748-9326/11/9/094023.

94 van Dijk, A.I.J.M., Beck, H.E., Crosbie, R.S., de Jeu, R.A.M., Liu, Y.Y., et al. 2013. The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society. Water Resources Research **49**: 1040-1057.

95 Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International **10** (3):111-120.

96 Carrão, H., Naumann, G., and Barbosa, P. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. Global Environmental Change **39**: 108-124.

97 World Commission on Dams. 2000. Dams and Development: A new framework for decision-making. Earthscan, London.

98 Pearce, F. 1992. The Dammed: Rivers, dams and the coming water crisis. The Bodley Head, London.

99 Zarfl, C., Lumsdon, A.E., Berlekamp, J., Tydecks, L., and Tockner, K. 2014. A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences 77 (1): 161-170.

100 Wetlands International, 2016. New Irrigation Plans Threaten Flood Production Inner Niger Delta. Wetlands International news release. September 21, 2016. https://www.wetlands.org/news/new-irrigation-plans-threaten-food-production-inner-niger-delta/

101 Macedo, M.N., Coe, M.T., DeFries, R., Uriarte, M., Brando, P.M., et al. 2013. Land-use-driven stream warming in southeastern Amazonia. Philosophical Transactions of the Royal Society London B **368**: 20120153.

102 Pearce, F. 1992. Op. cit.

103 Douglas, E.M., Wood, S., Sebastian, K., Vörösmarty, C.V., Chomitz, K.M, et al. 2007. Policy implications of a pan-tropic assessment of the simultaneous hydrological and biodiversity impacts of deforestation. Water Resources Management **21**: 211-232.

104 Guérin, F., Abril, G. Richard G., Burban B., Reynouard C., et al. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. Hydrology and Land Surface Studies. Geophysical Research Letters **33** (21): doi:10.1029/2006GL027929.

105 Charity, S., Dudley, N., Oliveira, D., and Stolton, S. 2016. Living Amazon Report 2016. WWF Living Amazon Initiative, Brasilia, Brazil.

106 Tundisi, J.G., Goldemberg, J. Matsumura-Tundisi, T., and A.C.F. Saraiva. 2014. How many more dams in the Amazon? Energy Policy 74: 703-708.

107 Canas, C.M. and Pine, W.E. 2011. Documentation of the temporal and spatial patterns of Pimelodidae catfish spawning and larvae dispersion in the Madre de Dios (Peru): Insights for conservation in the Andean-Amazon headwaters. River Research and Applications **27**: 602-611.

108 Castello, L. and Macedo, M.N. 2015. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. Global Change Biology **22** (3): 990-1007.

109 Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters **6** (4): 217-229.

110 Macedo, M. and Castello, L. 2015. State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health. WWF Living Amazon Initiative, Brasília, Brazil.

111 Castello, L., et al. 2013. Op. cit.

112 Bernard, E., Penna, L.A.O., and E. Araújo. 2014. Downgrading, downsizing, degazettement, and reclassification of protected areas in Brazil. Conservation Biology **28** (2): 1523-1739.

113 Macedo, M. and Castello, L. 2015. Op. cit.

114 http://wwf.panda.org/wwf_news/?264030/Large-scale-degradation-of-Amazonian-freshwater-ecosystems

115 Finer, M. and Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. PLoS ONE **7**: e35126.

116 Claudia M., Stickler, C.M., Coe, M.T., Costa, M.H., Nepstad, D.C., et al. 2013. Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales, Proceedings of the National Academy of Sciences **110** (23): 9601-9606.

117 Macedo, M. and Castello, L. 2015. Op. cit.

118 Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., and Zhang, L. 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. Water Resources Research **43** (3) doi:10.1029/2006WR005486.

119 Scanlon, et al. 2007. Op. cit.

120 Umali, D. L. 1993. Irrigation-induced Salinity: A growing problem for development and the environment**.** World Bank Technical Paper number 215. Washington, DC.

121 Pitman, M.G. and Läuchli, A. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Läuchli, A. and Lüttge, U. (eds.) Salinity: Environment – Plants – Molecules. Kluwer Academic Publishers, pp. 3-20.

122 Schwabe, K.A., Kan, I., and Knapp, K.C. 2006. Drainwater management for salinity mitigation in irrigated agriculture. American Journal of Agricultural Economics **88**: 133-149.

123 Umali, D. L. 1993. Op. cit.

124 Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., et al. (eds.) 2008. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.

125 Born, v. d., G.J., Kragt, F., Henkens, D., Rijken, B., Bemmel, van, B., et al. 2016. Dalende bodems, stijgende kosten. Den Haag.

126 Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., et al. 2010. Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences **7**: 1505-1514.

127 Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W.A., Lu, X.X., et al. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. Biogeosciences **9**: 1053-1071.

128 Hooijer, A., Verminnnen, R., Mawdsley, N., Page, S., Mulyadi, D., et al. 2015. Assessment of impacts of plantation drainage on the Kampar Peninsula peatland, Riau. Deltares report 1207384 to Wetlands International, CCLUA and Norad.

129 Douglas, E.M., et al. 2007. Op. cit.

130 Pagiola, S. 1999. The Global Environmental Benefits of Land Degradation Control on Agricultural Land. World Bank Environment Paper Number 16. The World Bank, Washington, DC.

131 Ramsar Secretariat. 2002. Climate change and wetlands: Impacts, adaptation and mitigation. COP8 Information Paper, DOC 11.

132 Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B., and Trettin, C. 2006. The carbon balance of North American wetlands. Wetlands **26**: 889-916.

133 Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., et al. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. Frontiers in Ecology and the Environment **9**: 552-560.

134 Nahlik, A.M. and Fennessey, M.S. 2016. Carbon storage in US wetlands. Nature Communications. DOI: 10.1038/ncomms13835.

135 Turetsky, M.R., Benscoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G.R., et al. 2015. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. Nature Geoscience **8**: Pages:11-14 Year published:. DOI:doi:10.1038/ngeo2325

136 Mitra, S., Wassmann, R., and Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Current Science **88** (1): 25-35.

137 Ramsar Secretariat, Ramsar Scientific & Technical Review Panel and Biodiversity Convention Secretariat 2007. Water, wetlands, biodiversity and climate change: Report on outcomes of an expert meeting, March 23-24, 2007, Gland, Switzerland.

138 Mitra, S., Wassmann, R., and Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Current Science **88**: 25-35.

139 Parish, F., et al. (eds.) 2007. Op. cit.

140 Pena, N. 2008. Including peatlands in post-2012 climate agreements: Options and rationales. Report commissioned by Wetlands International from Joanneum Research, Austria.

141 Sabine, C.L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D.C.E., Chen, C.T.A., et al. 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle. In: Field, C.B. and Raupach, M.R. (eds.) The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World. Island Press, Washington, D.C., USA, pp. 17-44.

142 Verwer, C., van der Meer, P., and Nabuurs, G. 2008. Review of carbon flux estimates and other greenhouse gas emissions from oil palm cultivation on tropical peatlands – identifying gaps in knowledge, Alterra report 1741. Alterra, Wageningen, Netherlands.

143 Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., et al. 2009. The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation, A UNEP rapid response assessment, United Nations Environment Programme, UNEP WCMC, Cambridge, UK.

144 Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H., and Page, S. 2006. PEAT-CO2, Assessment of CO_2 emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943.

145 Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chapin III, F.S., Chernov, Y., Christensen, T.R., et al. 2005. Arctic Tundra and Polar Desert Ecosystems. In ACIA, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge UK.

146 Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D.W., et al. 2007. Climate change and trace gases, Philosophical Transactions of the Royal Society **365**: 1925-1954.

147 Erwin, K. 2009. Wetlands and global climate change: The role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecology and Management **17**: 71-84.

148 Farrell, C. and Doyle, G. 2003. Rehabilitation of industrial cutaway Atlantic blanket bog in County Mayo, North-West Ireland. Wetlands Ecology and Management **11**: 21. doi:10.1023/A:1022097203946.

149 Wetlands International 2008. Advice to UNFCCC Parties for COP14 and associated meetings, December 2008, Wetlands International, Wageningen, Netherlands.

150 http://thebluecarboninitiative.org/ accessed February 17, 2017.

151 Mauerhofer, V. 2011. A bottom-up 'Convention-Check' to improve top-down global protected area governance. Land Use Policy **28**: 877-886.

152 Davidson, N. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Marine and Freshwater Research **65**: 934-941.

153 Revenga, C. and Yura, K. 2003. Status and Trends of Biodiversity of Inland Water Ecosystems. Technical Series number 11. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

154 Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

155 Dixon, M.J.R., Loh, J., Davidson, N.C., Beltrame, C., Freeman, R., et al. 2016. Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends Index. Biological Conservation **193**: 27-35.

156 Ramsar Convention Secretariat. 2016. An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 7th edition. (previously The Ramsar Convention Manual). Gland, Switzerland.

157 Garcia-Moreno, J., Harrison, I., Dudgeon, D., Clausnitzer, V., Darwall, W., et al. 2014. Sustaining freshwater biodiversity in the Anthropocene. In: Bogardi, J., Bhadurim, A., Leentvaar, J. and Marx, S. (eds.) The Global Water System in the Anthropocene: Challenges for Science and Governance. Springer, Switzerland, pp. 247-270.

158 Strayer, D.L. and Dudgeon, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. Journal of the North American Benthological Society **29**: 344-358.

159 Collen, B., Whitton, F., Dyer, E.E., Baillie, J.E.M., Cumberlidge, N., et al. 2014. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. Global Ecology and Biogeography **23**: 40-51.

160 Stuart, S.N, Hoffman, J.S., Chanson N.A., Cox, et al. 2008. Threatened Amphibians of the World. Lynx Editions, Barcelona.

161 Barthem, R. and Goulding, M. 1997. The catfish connection: Ecology, migration and conservation of Amazon predators. Columbia University Press, New York.

162 Finer, M. and Jenkins, C.N. 2012. Op. cit.

163 Petrere, M. Jr., Borges Barthem, R., Agudelo Córdoba, E., and Corrales Gómez, B. 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (Brachyplatystoma filamentosum Lichtenstein). Reviews in Fish Biology and Fisheries **14**: 403-414.

164 Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters 6: 217-229.

165 Revenga, C., Murray, S., Abramovitz, J., and Hammond, A. 1998. Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability. World Resources Institute, Washington, DC.

166 Darwall, W., Smith, K., Allen, D., Seddon, M., Mc Gregor Reid, G., et al. 2008. Freshwater biodiversity – a hidden resource under threat. In: Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C., and Stuart, S.N. (eds.) The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland.

167 Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

168 Modified from De Groot, R.S., Stuip, M.A.M., Finlayson, C.M., and Davidson, N. 2006. Valuing wetlands: Guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services, Ramsar Technical Report No. 3/CBD Technical Series No. 27. Ramsar and the CBD, Gland, Switzerland and Montreal, Canada.

194 Llamas, J. 1987. Risk of drought and future water requirements on a regional scale. International Journal of Water Resources Development **3**: 260-265.

195 Micklin, P. 2016. Op. cit.

196 Gao, H., Bohn, T.H., Podest, E., McDonald, K.C., and Lettenmaier, D.P. 2011. On the causes of the shrinking of Lake Chad. Environmental Research Letters **6** (3).

197 Huxley, J. 1943. TVA: Adventure in Planning. The Architectural Press, London.

198 Duda, A.M., Menzies, S., Severin, C., Hume, A., Sundstrom, K.R., et al. 2012. Contributing to Global Security: GEF Action on Water, Environment, and Livelihoods. Global Environment Facility, Washington, DC.

199 WWF. 2013. Soy and Biodiversity Loss: Expanding markets, declining ecosystems and what we can do about it. WWF International, Gland, Switzerland.

200 FAO. 2007. Future Expansion of Soybean 2005-2014. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, Rome, Italy.

201 Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Paper presented at the FAO Expert Meeting, June 24-26, 2009, Rome on ‹How to Feed the World in 2050.› Food and Agriculture Organization of the United Nations, Economic and Social Development Department, Rome, Italy.

202 Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2006. Op. cit.

203 Bäse, F., Elsenbeer, H., Neill, C., and Krusche, A.V. 2012. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment **159**: 19-28.

204 Pengue, W. 2005. Transgenic crops in Argentina: The ecological and social debt. Bulletin of Science, Technology and Society **25**: 314-322.

205 Gheewala, S.H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S.R., et al. 2014. Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. Water **6** (6): 1698-1718.

206 Biancalani R. and Avagyan, A. 2014. Op. cit.

207 Mehta, L., Veldwisch, G.J., and Franco, J. 2012. Introduction to the Special Issue: Water grabbing? Focus on the (re) appropriation of finite water resources. Water Alternatives **5** (2): 193-207.

208 Carr, J.A., D'Odorco, P., Laio, F., and Ridolfi, L. 2013. Recent history and geography of virtual water trade. PLoS One **8** (2): e55825.

209 Barlow, M. and Clarke, T. 2002. Blue Gold: The battle against corporate theft of the world's water. Earthscan, London.

210 De Sherbinin, A. and Dompka, V. (eds.) 1998. Water and Population Dynamics: Case studies and policy implications. American Association for the Advancement of Science, New York.

211 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. Op. cit.

212 Satterthwaite, D. 2014. Cities of more than 500,000 people, Visualisation. International Institute for Environment and Development, London. http://www.iied.org/cities-interactive-data-visual

213 Currie, E.L.S., Fernández, J.F., Kim, J. and Kaviti Musango, J. 2015. Towards urban resource flow estimates in data scarce environments: The case of African cities. Journal of Environmental Protection **6**: 1066-1083.

214 Information from the Ramsar Secretariat.

215 http://www.monavalevlei.com/, accessed February 1, 2015.

216 Gosling, S.N. and Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change **134**: 371. doi:10.1007/s10584-013-0853-x.

217 IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.

218 Gleik, P. 2003. Global freshwater resources: Soft path solutions for the 21st century, Science **302**: 1524-1528.

219 Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

220 Van Beek, E. and Lincklaen Arriens, W. 2014. Water Security: Putting the concept into practice. TEC Background Papers number 20. Global Water Partnership, Stockholm.

221 Grigg, N.S. 2008. Integrated water resources management: Balancing views and improving practice. Water International **33** (3): 279-292. DOI:10.1080/02508060802272820.

222 Schaible, G.D. and Aillery, M.P. 2012. Water Conservation in Irrigated Agriculture: Trends and Challenges in the Face of Emerging Demands, EIB-99, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.

223 Brauman, K.A., Siebert, S., and Foley, J.A. 2013. Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security – a global analysis. Environmental Research Letters **8**: doi:10.1088/1748-9326/8/2/024030.

243 Bossio, D., Geheb, K., and Critchley, W. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. Agricultural Water Management **97**: 536-542.

244 Noguiera, D. 2008. http://genderandwater.org/en/gwa-products/knowledge-on-gender-and-water/articles-in-source-bulletin/brazil-rainwater-harvesting-in-semi-arid-region-helps-women-1/brazil-rainwater-harvesting-in-semi-arid-region-helps-women.

245 Song, X., Ravesteijn, W., Frostell, B., and Wennersten, R. 2010. Managing water resources for sustainable development: The case of integrated river basin management in China. Water Science and Technology, **61**: 499-506.

246 Tortajada, C. 2014. Water infrastructure as an essential element for human development. International Journal for Water Resources Development **30** (1): 8-19.

247 Krchnak, K.M., Smith, D.M., and Deutz, A. 2011. Investing in Natural Infrastructure to advance water-energy-food security. IUCN and The Nature Conservancy, Gland, Switzerland and Washington, DC.

248 Benedict, M.A. and McMahon, E.T. 2006. Green Infrastructure: Smart cities for the 21st century. Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series. The Conservation Foundation, Washington, DC.

249 Gartner, T., Mulligan, J., Schmidt, R., and Gunn, J. 2013. Natural Infrastructure: Investing in forested landscapes for source water protection in the United States. World Resources Institute, Washington, DC.

250 Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature **467**: Pages:

555-561.

251 Aylward, B. 2000. Economic Analysis of Land-use Change in a Watershed Context presented at a UNESCO Symposium on Forest-Water-People in the Humid Tropics, Kuala Lumpur, Malaysia, July 31 –August 4, 2000.

252 Bruijnzeel, L.A. and Hamilton, L.S. 2000. Decision Time for Cloud Forests, IHP Humid Tropics Programme Series no. 13, IHP-UNESCO, Paris.

253 Turner, R.K., Georgiou, S., and Fisher, B. (eds.) 2008. Valuing Ecosystem Services: The case of multifunctional wetlands, Earthscan, Oxford.

254 Naughton-Treves, L., Buck Holland, M., and Brandon, K. 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. Annual Review of Environmental Resources **30**: 219-252.

255 Abell, R., Allan, J.D., and Lehner, B. 2007. Unlocking the potential of protected areas for freshwaters. Biological Conservation **134**: 48-63.

256 Juffe-Bignoli, D., Harrison, I., Butchart, S.H.M., Flitcroft, R., Hermoso, V., et al. 2016. Achieving Aichi Biodiversity Target 11 to improve the performance of protected areas and conserve freshwater biodiversity. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems **26** (Supplement 1): 133-151.

257 Saunders, D.L., Meeuwig, J.J., and Vincent, A.C.J. 2002. Freshwater protected areas: Strategies for conservation. Conservation Biology **16** (1): 30-41.

258 World Bank. 2010. Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-based approaches to climate change, The World Bank, Washington, DC.

259 Collins, B.R. and Russell, E.W.B. (eds.) 1988. Protecting the New Jersey Pinelands: A New Direction in Land Use Management, New Brunswick and London: Rutgers University Press.

260 Peel M., Watson, F., Vertessy, R., Lau, A., Watson, I., et al. 2000. Predicting the Water Yield Impacts of Forest Disturbance in the Maroondah and Thomson Catchments using the Macaque Model Technical Report, Report 00/14, December 2000, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology and Melbourne Water, Australia.

261 Gorenflo, L.J. and Warner, D.B. 2016. Integrating biodiversity conservation and water development: In search of long-term solutions. WIRES Water **3** (3): 301-311.

262 Dudley, N., Buyck, C., Furuta, N., Pedrot, C., Renaud, F., et al. 2015. Protected Areas as Tools for Disaster Risk Reduction. A handbook for practitioners. IUCN and Ministry of Environment Japan, Gland, Switzerland and Tokyo.

263 Joosten, H., Tapio-Biström, M.L., and Tol, S. (eds.) 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use: Second edition. FAO and Wetlands International, Rome.

264 Dudley, N. and Stolton, S. 2003. Op. cit.

265 Reid, W.V. 2001. Capturing the value of ecosystem services to protect biodiversity. In: Chichilenisky, G., Daily, G.C., Ehrlich, P., Heal, G., and Miller, J.S. (eds.) Managing human-dominated ecosystems. Monographs in Systematic Botany 84, Missouri Botanical Garden Press, St Louis.

266 Stolton, S. and Dudley, N. (eds.) 2010. Arguments for Protected Areas. Earthscan, London.

267 Johnson, N., White, A., and Perrot-Maître, D. 2002. Developing markets for water services from forests: Issues and lessons for innovators. Forest Trends, USA.

268 Dudley, N. and Stolton, S. 2003. Op. cit.

269 Hamilton, L. 2008. Forests and water, FAO Forestry paper 155. FAO, Rome.

270 Stavins, R.N. 2002. Experience with market-based environmental policy instruments, Nota di Lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, No. 52.2002.

271 McDonald, R.I. and Shemie, D. 2014. Urban Water Blueprint: Mapping conservation solutions to the global water challenge. The Nature Conservancy, Washington, DC.

272 Addy, S., Cooksley, S., Dodd, N., Waylen, K., Stockan, J., et al. 2016. River Restoration and Biodiversity: Nature-Based Solutions for Restoring the Rivers of the UK and Republic of Ireland. IUCN National Committee for the UK.

273 van Wesenbeeck, B.K., Balke T., van Eijk P., Tonneijck, F., Siry, H.Y., et al. 2015. Aquaculture induced erosion of tropical coastlines throws coastal communities back into poverty. Ocean and Coastal Management **116**: 466-469.

274 Information from a protected area management effectiveness tracking tool assessment, carried out for the Zoological Society of London, September 2015.

275 Saurí, D. 2013. Water conservation: Theory and evidence in urban areas of the developed world. Annual Review of Environment and Resources **38**: 227-248.

276 Saurí, D. 2013. Op. cit.

277 Government on water scarcity and drought 2015. South African Government. http://www.gov.za/speeches/government-water-scarcity-and-drought-13-nov-2015-0000

278 Hassan R. and Crafford J. 2006. Environmental and economic accounts for water in South Africa. Edward Elgar Publishing, UK. 114-168.

279 McKinney, D., Cai, X., Rosegrant, M., Ringler, C., and Scott, C. 1999. Modelling water resources management at the basin level: Review and future directions. International Water Management Institute, Sri Lanka.