

3

Взаимосвязь между изменением климата и водными ресурсами: последствия и реакции

3.1 Наблюдаемые последствия изменения климата

3.1.1 Наблюдаемые последствия, вызванные изменениями в криосфере

Последствия изменений документально зарегистрированы практически по всем компонентам криосферы, при этом имеются достоверные данные о том, что в целом эти последствия являются реакцией на уменьшение массы льда и снега, вызванного усилением потепления.

3.1.1.1 Горные ледники и ледяные шапки, ледовые щиты и шельфовые ледники

Документально зарегистрированы воздействия изменений в горных ледниках и ледяных шапках на сток (Kaser et al., 2003; Box et al., 2006), условия возникновения опасных явлений (Haeberli and Burn, 2002) и опреснение воды в океанах (Bindoff et al., 2007). Также появляются свидетельства происходящего подъема земной коры в результате недавнего таяния ледников на Аляске (Larsen et al., 2005). Более интенсивное таяние ледников, а также увеличение продолжительности сезона их таяния ведут в начале к увеличению пиковых значений стока и расхода воды в реках, но в то же время в более долгосрочных временных рамках (в масштабе от десятилетия до столетия) ожидается, что объем ледникового стока уменьшится (Jansson et al., 2003). Факты увеличения объема стока в последние десятилетия в результате усиления таяния ледников уже обнаружены в тропической части Анд и в Альпах. [РГП, 4.6.2; РГП, 1.3.1.1]

По мере отступления ледников от крупных морен Малого ледникового периода (МЛП) в ряде крутых горных массивов, включая Гималаи (см. вставку 5.4), Анды и Альпы, происходит образование озер. Таяние погребенного льда также угрожает дестабилизировать морены Малого ледникового периода. Имеются большие потенциальные возможности для затопления в результате прорыва ледниковых озер (ГЛОФ). Государственные организации в соответствующих странах провели большую работу по обеспечению безопасности, и в настоящее время несколько озер либо надежно перегорожены плотинами, либо осушены; однако необходимо постоянно проявлять бдительность, так как десятки потенциально опасных ледниковых озер до сих пор существуют в Гималаях (Yamada, 1998) и Андах (Aemis, 1998) и еще несколько озер в других горных массивах планеты. [РГП, 1.3.1.1]

Отступление ледников вызывает сильные изменения ландшафта, что оказывает влияние на условия проживания и туризм во многих горных районах по всему миру (Watson and Haeberli, 2004; Mogl et al., 2005). На рис. 5.10 показаны последствия отступления ледника Чакалтайа для местного ландшафта и горнолыжной отрасли. Потепление вызывает усиление таяния ледников в весенне-летний период, особенно в зонах абляции, при этом наблюдаются соответствующие сезонные потери снежного покрова, которые приводят к более интенсивному появлению трещин на поверхности ледника, что, по сообщениям с Антарктического полуострова, в свою очередь оказывает, например, негативное влияние на функционировании снежной взлетно-посадочной полосы. (Rivera et al., 2005). [РГП, 1.3.1.1]

3.1.1.2 Снежный покров и мерзлый грунт

В результате уменьшения площади снежного покрова, как во времени, так и в пространстве, в последние 65 лет в Северной Америке и северной части Евразии пиковые объемы речного стока наблюдаются на 1-2 недели раньше. Имеются также факты, свидетельствующие об увеличении объема зимнего базисного стока в северной части Евразии и Северной Америке, а также основанная на измерениях тенденция к уменьшению количества снега в низких широтах, что оказывает негативное влияние на лыжные районы. [РГП, 1.3.1.1]

Уменьшение площади сезонномерзлого грунта и вечной мерзлоты, а также увеличение глубины активного слоя привели к:

- исчезновению озер вследствие процесса дренирования внутри слоя вечной мерзлоты, выявленного на Аляске (Yoshikawa and Hinzman, 2003) и в Сибири (см. рис. 5.12) (Smith et al., 2005);
- уменьшению потенциального числа дней для движения транспортных средств по замерзшим дорогам на Аляске;
- усилению береговой эрозии в Арктике (например, Beaulieu and Allard, 2003).

[РГП, 1.3.1.1, глава 15]

3.1.2 Гидрология и водные ресурсы

3.1.2.1 Изменения в системах поверхностных и грунтовых вод

После публикации ТДО было проведено большое число исследований, посвященных выявлению трендов речных стоков в течение XX века в масштабах от одного водосборного бассейна до всего земного шара. В результате некоторых исследований обнаружены значительные тренды в некоторых показателях речного стока, а некоторые исследования продемонстрировали статистически значимые связи с трендами температуры и осадков, но о трендах, однородных в глобальном масштабе, не сообщалось. Впрочем, многие исследования не выявили никаких трендов и не смогли отделить последствия колебаний в температуре и количестве осадков от последствий антропогенного воздействия на бассейн, таких, как изменения в землепользовании и строительство водохранилищ. На межгодовое колебание речных стоков в некоторых районах сильное влияние также оказывают крупномасштабные систематические проявления атмосферной циркуляции, связанные с ЭНСО, САК и другими системами изменчивости, действующими во внутrideкадном и мультидекадном временных масштабах. [РГП, 1.3.2.1]

В глобальном масштабе имеются данные о более или менее четкой картине изменения годового стока, при этом в одних районах он увеличивается (Tao et al., 2003a, b, для Китая; Hyvarinen, 2003, для Финляндии; Walter et al., 2004, для пограничных районов США), особенно в высоких широтах, а в других уменьшается, например в некоторых частях Западной Африки, южной части Европы и южной части Латинской Америки (Milly et al., 2005). Лабат и др. (Labat et al., (2004)) утверждали, что в течение 20-го столетия суммарный объем глобального стока увеличился на 4% в расчете на 1°C повышения температуры и этот тренд

характеризовался региональным колебанием, но это утверждение было подвергнуто сомнению из-за воздействий на сток неклиматических факторов и погрешностей в связи с небольшим числом точек получения данных (Legates et al., 2005). Гедней и др. (Gedney et al., (2006)) привели первые предварительные свидетельства того, что воздействие CO_2 ведет к увеличению объема стока вследствие воздействий повышенных концентраций CO_2 на физиологию растений, хотя другие доказательства такой взаимосвязи найти трудно. Методология, используемая для выявления трендов, также может оказать влияние на результаты, поскольку исключение взаимной корреляции между бассейнами может привести к переоценке числа водосборных бассейнов, которые характеризуются значительными трендами (Douglas et al., 2000). [РГП, 1.3.2.1]

Поток грунтовых вод в близкоповерхностных водоносных слоях является частью гидрологического цикла и испытывает влияние изменчивости и изменения климата в результате процессов пополнения (Chen et al., 2001), а также во многих местах антропогенного воздействия (Petheram et al., 2001). [РГП, 1.3.2.1] Уровни грунтовых вод во многих водоносных слоях характеризуются в последние несколько десятилетий тенденцией к снижению [РГП, 3.2, 10.4.2], но в целом это объясняется тем, что темпы выкачивания грунтовых вод превышают темпы их пополнения, а не тем, что пополнение сократилось под влиянием климата. Могут быть районы, такие как юго-западная часть Австралии, где увеличение забора грунтовых вод вызвано не только ростом потребности в воде, но и обусловленным климатом уменьшением пополнения за счет поверхностных вод (правительство Западной Австралии, 2003 г.). В верхнем насыщенном углекислым газом водоносном слое около Виннипега, Канада, гидрографы мелких скважин никаких очевидных трендов не выявляют, но показывают 3-4-летние колебания, связанные с изменениями в годовой температуре и годовом количестве осадков (Ferguson and George, 2003). В связи с отсутствием данных и очень медленной реакцией систем грунтовых вод на меняющиеся условия их пополнения, изменения в пополнении грунтовых вод, связанные с климатом, не наблюдались. [РГП, 1.3.2, 3.2]

На сегодняшний день устойчивого в глобальном масштабе тренда уровней воды в озерах не установлено. В то время как в некоторых озерах в Монголии и Китае (Синьцзян) уровень воды повысился вследствие усиления таяния снега и льда, в других озерах в Китае (Цинхай), Австралии, Африке (Зимбабве, Замбия и Малави), Северной Америке (Северная Дакота) и Европе (центральная часть Италии) он понизился из-за комплексного воздействия засухи, потепления и деятельности человека. В районах вечной мерзлоты в Арктике недавнее потепление привело к образованию временных озер после начала таяния, которые потом быстро высохли из-за деградации вечной мерзлоты (например, Smith et al., 2005). Сообщалось о аналогичной ситуации с озером, образовавшимся на одном из шельфовых ледников в Арктике (т.е. эпিশельфовое озеро¹²), которое исчезло, когда этот ледник разрушился (Mueller et al., 2003). Проблемы вечной мерзлоты и эпিশельфовых озер подробно рассматриваются Ле Третом и др. (Le Treut et al. (2007)). [РГП, 1.3.2.1]

3.1.2.2 Качество воды

Связанное с климатом потепление озер и рек наблюдалось в течение последних десятилетий. [РГП, 1.3.2.] В результате в пресноводных экосистемах произошли изменения в видовом составе, изобилии, продуктивности организмов и фенологические сдвиги (включая более раннюю миграцию рыб). [РГП, 1.3.4] Также в результате потепления во многих озерах наблюдалась более продолжительная стратификация с уменьшением концентрации питательных веществ в поверхностном слое [РГП, 1.3.2.] и более продолжительное истощение кислорода в более глубоких слоях. [РГП, вставка 4.1] Из-за сильного антропогенного воздействия, не связанного с изменением климата, факты для выявления устойчивых связанных с климатом трендов других параметров качества воды (например, соленость, патогены или питательные вещества) в озерах, реках и грунте отсутствуют. [РГП, 3.2.]

Термальная структура озер

В озерах в ответ на потепление отмечается повышение температуры воды (табл.3.1). Сокращение периодов, когда на реках и озерах держится ледовый покров, и уменьшение толщины речного и озерного льда, рассматривается в разделе 2.1.2 и работе Ле Трета и др. (2007г.). Динамика фитопланктона и первичная продуктивность также изменились в связи с изменениями физических свойств озер. [РГП, 1.3.4.4, рис.1.2, табл. 1.6] С 1960-х гг. температура поверхности воды в реках и озерах Европы, Северной Америки и Азии повысилась на 0,2-2,0°C. Наряду с потеплением поверхностных вод глубоководные слои (что отражается долгосрочными тенденциями) в крупных озерах восточной части Африки (Эдвард, Альберт, Киву, Виктория, Танганьика и Малави) после 1900-х гг. прогрелись на 0,2-0,7 °C. Повышение температуры воды и увеличение продолжительности периода без ледового покрова оказали влияние на термальную стратификацию и внутреннюю гидродинамику озер. В более теплые годы температура поверхности воды увеличивается, потери воды на испарение возрастают, летняя стратификация происходит раньше и глубина термоклинов становится меньше. В нескольких озерах Европы и Северной Америки период стратификации начинался раньше на 20 дней и продолжался дольше на 2-3 недели, при этом возрастала термальная стабильность. [РГП, 3.2.]

Химический состав

Более продолжительная стратификация уменьшает движение воды в термоклине, препятствуя апвеллингу и перемешиванию, которые обеспечивают необходимые питательные вещества для пищевой сети. В результате уменьшения апвеллинга, вызванного термальной стабильностью, в озерах Европы и восточной части Африки наблюдалось сокращение количества питательных веществ в поверхностном слое и его соответствующий рост в глубоководных слоях. Во многих реках и озерах наблюдалось увеличение концентрации сульфатов, катионов оснований и кремния, а также повышение щелочности и проводимости вследствие усиленного выветривания в их водосборных бассейнах силикатов, сульфатов или карбонатов кальция и магния. В отличие от этого, когда повышение температуры усиливает вегетативный рост и почвообразование в высокогорных альпийских экосистемах, щелочность снижается

¹² Водоем, обычно пресноводный, отгороженный шельфовым ледником.

в результате увеличения поступления органической кислоты (Karst-Riddoch et al., 2005). Таяние ледников увеличило поступление хлорорганических соединений (которые попадают в ледник в результате атмосферного переноса и остаются в нем) в одно из субальпийских озер в Канаде (Blais et al., 2001). [РГП, 1.3.2.3]

Увеличение температуры также оказывает влияние на внутриозерные химические процессы (табл. 3.1; для получения дополнительной информации о наблюдаемых изменениях в химических свойствах воды см. также табл. SM1.3 РГ II). Из-за более высокой продуктивности фитопланктона наблюдается снижение содержания растворенного неорганического азота (Sommaruga-Wogratz et al., 1997; Rogora et al., 2003), внутриозерное образование более высокого уровня щелочности и увеличение содержания pH в озерах с мягкой водой (Psenner and Schmidt, 1992). Повышенная растворимость, вызванная более высокой температурой, в значительной мере способствует снижению на 11-13% концентрации алюминия (Vesely et al., 2003), хотя в озерах с более высокой температурой воды увеличивается метилирование ртути и наблюдается более высокий уровень содержания ртути в рыбе (Boaly et al., 1993). Снижение содержания кремния вследствие регионального потепления документально зарегистрировано в озере Байкал, Россия. Данные о качестве речной воды, полученные по 27 рекам Японии, также показывают, что как химические, так и биологические свойства воды ухудшаются вследствие повышения температуры воздуха. [РГП, 1.3.2.3]

Эрозия и седиментация

Водная эрозия возросла во многих районах планеты, большей частью вследствие антропогенных изменений в землепользовании. В связи с отсутствием данных, нет фактов, свидетельствующих за или против прошлых изменений в эрозии и переносе наносов, связанных с климатом.

3.1.2.3 Наводнения

Разнообразные климатические и неклиматические процессы способствуют наводнениям, результатом чего являются паводки на реках, внезапные паводки, наводнения в городах, разливы сточных вод, затопление после прорыва ледниковых озер (ГЛОФ, см. вставку 5.4) и наводнения на прибрежных территориях. К процессам, вызывающим наводнения, относятся интенсивные и/или продолжительные осадки, таяние снега, прорыв плотины, снижение пропускной способности русла из-за ледяных заторов или оползней, или шторма. Наводнения зависят от интенсивности, количества, времени и формы выпадения (снег или дождь) осадков и предшествующих условий на реках и в их дренажных бассейнах (например, наличие снега и льда, характер и состояние почвы (мерзлая или немерзлая, насыщенная или ненасыщенная), влажность, скорость и сроки таяния снега/льда, урбанизация, наличии дамб, плотин и водохранилищ). Вторжение человека на территорию пойм и отсутствие планов реагирования на паводки увеличивают потенциальные возможности для ущерба. [РГП, 3.4.3] Наблюдаемый рост интенсивности осадков и другие наблюдаемые изменения климата,

Табл. 3.1: Наблюдаемые изменения в стоке/русовом потоке, уровне воды в озерах и наводнениях/засухах [РГП, табл. 1.3]

Параметр окружающей среды	Наблюдаемые изменения	Период времени	Место
Сток/текущий поток	Годовое увеличение на 5%, увеличение зимой на 25-90%, увеличение базисного стока в результате усиленного таяния и оттаивания вечной мерзлоты	1935-1999 гг.	Арктический дренажный бассейн: Обь, Лена, Енисей, Макензи
	Пиковый текущий поток наблюдается на 1-2 недели раньше вследствие обусловленного потеплением более раннего начала снеготаяния	1936-2000 гг.	Западная часть Северной Америки, Новая Англия, Канада, северная часть Евразии
Наводнения	Увеличение частоты катастрофических наводнений (на 0,5-1%) из-за более раннего ледохода на реках и сильных осадков	Последние годы	Российские арктические реки
Засухи	Уменьшение годового максимального суточного текущего потока на 29% из-за повышения температуры и испарения при отсутствии каких-либо изменений в количестве осадков	1847-1996 гг.	Южная часть Канады
	В связи с сухой и необычно теплой погодой летом вследствие потепления в последние годы в западной части тропической зоны Тихого и Индийского океанов	1998-2004 гг.	Западная часть США
Температура воды	В озерах повышение на 0,1-1,5°C	40 лет	Европа, Северная Америка, Азия (100 станций)
	В озерах (глубоководные слои) повышение на 0,2-0,7°C	100 лет	Восточная Африка (6 станций)
Химический состав воды	Снижение содержания питательных веществ из-за усиления стратификации или более продолжительного вегетационного периода в реках и озерах	100 лет	Северная Америка, Европа, восточная часть Европы, Восточная Африка (8 станций)
	Усиление выветривания в водосборном бассейне или внутренние процессы в озерах и реках	10-20 лет	Северная Америка, Европа (88 станций)

например активизация развивающихся на западе синоптических систематических ситуаций в зимний период в Европе, ведущих к формированию очень дождливых областей низкого давления, которые часто становятся причиной наводнений (Kron and Berz, 2007), показывают, что, возможно, изменение климата уже оказало влияние на интенсивность и частоту наводнений. [РГП, 3.2] В Резюме для политиков ДО4 Рабочей группы I, сделан вывод, что, *вероятно*, частота выпадения сильных осадков в конце XX века возросла в большинстве районов и что, *скорее вероятно, чем нет*, на этот тренд оказывает влияние антропогенный фактор. [РГП, табл. РП]

В глобальном масштабе число крупных внутриконтинентальных катастрофических наводнений в течение последних десяти лет (1996-2005 гг.) возросло, в расчете за десятилетие, более чем в два раза по сравнению с периодом 1950-1980 гг., в то время как причиненный экономический ущерб вырос в пять раз (Kron and Berz, 2007). Доминирующими факторами, определяющими тенденцию увеличения ущерба от наводнений, являются социально-экономические факторы, такие, как экономический рост, рост населения и его благосостояния на уязвимых территориях и изменения в землепользовании. Наводнения явились самыми частыми стихийными бедствиями, которые затрагивают в среднем 140 млн человек в год (Доклад о мировом развитии, 2003, 2004 гг.). В Бангладеш во время наводнения 1998 г. было затоплено 70% территории страны (по сравнению со средней величиной, составляющей 20-25%) (Mirza, 2003; Clarke and King, 2004). [РГП, 3.2]

Так как ущерб от наводнений вырос быстрее, чем рост населения или экономический рост, то необходимо рассматривать другие факторы, включая изменение климата (Mills, 2005). Совокупность данных наблюдений указывает на непрерывное ускорение водного цикла (Huntington, 2006) [РГП, 3.4.3]. Частота выпадения сильных осадков увеличилась, что согласуется как с потеплением, так и наблюдаемым увеличением содержания водяного пара в атмосфере. [РГП, SPM, 3.8, 3.9]. Однако, исходя из документально зарегистрированных трендов, повсеместного повышения объемов максимального стока не наблюдается. Несмотря на то, что на основании анализа данных, полученных по крупным речным бассейнам Милли и др. (Milly et al.) (2002) определили очевидное увеличение частоты «крупных» наводнений (период повторяемости > 100 лет) на большей части земного шара, последующие исследования предоставили не столь обширные свидетельства. Кундцевич и др. (Kundzevich et al. (2005)) выявили увеличение (в 27 местах) и уменьшение (в 31 месте) и отсутствие каких-либо никаких трендов в оставшихся 137 из 197 водосборных бассейнах, исследованных по всему миру. [РГП, 1.3.2.2]

3.1.2.4 Засухи

Термин «засуха» может использоваться для обозначения метеорологической засухи (количество осадков значительно ниже среднего уровня), гидрологической засухи (низкий уровень речного стока и низкий уровень воды в реках и озерах, а также низкий уровень грунтовых вод), сельскохозяйственной засухи (низкое содержание влаги в почве) и экологической засухи (сочетание всех приведенных выше явлений). Социально-экономические последствия засухи могут явиться результатом

взаимодействия естественных условий и человеческих факторов, таких, как изменения в землепользовании и растительном покрове, а также потребности в воде и использовании воды. Чрезмерные заборы воды могут усугубить воздействие засухи. [РГП, 3.4.3]

После 1970-х гг. засухи стали более распространенными, особенно в тропиках и субтропиках. В Резюме для политиков ДО4 Рабочей группы I сделан вывод о том, что *вероятно*, площадь, оказавшаяся под воздействием засухи, увеличилась после 1970-х гг., и что, *скорее вероятно, чем нет*, на этот тренд оказывает влияния антропогенный фактор. [РГП, табл. SPM-2] Уменьшение количества осадков на суше и рост температуры, в результате которых увеличилась эвапотранспирация и уменьшилось содержание влаги в почве, являются важными факторами, которые способствовали тому, что, согласно рассчитанному значению индекса интенсивности засухи Палмера (ИИЗП), засуха затронула большее число районов (Dai et al., 2004b). [РГП, 3.4.3]

Регионы, где наблюдалась засуха, по-видимому, определялись большей частью на основе изменений в температуре поверхности моря, особенно в тропиках, вследствие связанных с ними изменений в атмосферной циркуляции и количестве осадков. В западной части США уменьшение толщины снежного покрова и последующее уменьшение содержания влаги в почве также выступили в качестве факторов воздействия в этом плане. В Австралии и Европе на основании экстремального характера высоких температур и волн тепла, сопровождавших засухи, был сделан вывод о их прямой связи с глобальным потеплением. [РГП, 3.Р, 3.3.4]

Используя ИИЗП, Даи и др. (Dai et al., (2004b)) выявили ярко выраженный тренд повышения засушливости в Северном полушарии, начиная с середины 1950-х годов, при этом широкомасштабная засушливость наблюдается в Евразии, северной части Африки, Канаде и на Аляске (рис. 3.1). В Южном полушарии поверхности суши были влажными в 1970-е гг. и относительно сухими в 1960-е и 1990-е гг. и тренд повышения засушливости наблюдался с 1974 по 1990 гг., хотя для всего периода 1948-2002 гг. ярко выраженных трендов не отмечалось. Уменьшение количества осадков в последние десятилетия явилось основной причиной для появления трендов повышения засушливости, хотя сильное приземное потепление в течение последних двух-трех десятилетий, *вероятно*, внесло в это свой вклад. В глобальном масштабе площадь очень засушливых областей (очень засушливые области определяются как области суши, где ИИЗП менее – 3,0) выросла более чем в два раза после 1970-х гг. (с ≈ 12% до 30%), при этом крупный скачок наблюдался в начале 1980-х гг. в связи с уменьшением количества осадков на суше вследствие ЭНСО и его последующим увеличением в первую очередь вследствие приземного потепления (Dai et al., 2004b). [РГП, 3.4.3]

Засухи оказывают отрицательное влияние на сельскохозяйственное производство на неорошаемых землях, а также на водоснабжение для коммунально-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных целей. Некоторые полузасушливые и полувлажные регионы, например Австралия [РГП, 11.2.1], западная часть США и южная часть Канады [РГП, 14.2.1] и Сахель (Nicholson, 2005), испытали более продолжительные и многолетние засухи. [РГП, 3.2]

Волна тепла в Европе в 2003 г., вызванная глобальным потеплением (Schar et al., 2004), сопровождалась дефицитом годового количества осадков, достигавшим 300 мм. По оценкам, засуха способствовала сокращению на 30% суммарной первичной продукции наземных экосистем Европы (Ciais et al., 2005). На многих крупных реках (например, По, Рейн, Луара, Дунай) зарегистрирован рекордно низкий уровень воды, что привело к сбоям в речном судоходстве, орошении, охлаждении электростанций (Beniston and Diaz, 2004; Zebisch et al., 2005). Экстремальное таяние ледников в Альпах предотвратило ситуацию, при которой уровень воды в реках Дунай и Рейн мог бы быть еще ниже (Fink et al., 2004). [РГП, 12.6.1]

3.2 Будущие изменения в обеспеченности водой и потребности в ней вследствие изменения климата

3.2.1 Связанные с климатом факторы влияния на пресноводные системы в будущем

Доминирующими климатическими факторами влияния на обеспеченность водой являются количество осадков, температура и испаряемость (обуславливается радиационным балансом Земли, атмосферной влажностью, скоростью ветра и температурой). Температура особенно важна в бассейнах с преобладающим снеговым питанием и в прибрежных районах; во втором случае это объясняется тем, что температура влияет на уровень моря (стерическое повышение уровня моря в результате теплового расширения воды). [РГП, 3.3.1]

Проекции изменений в этих компонентах водного баланса описаны в разделе 2.3. Вкратце, согласно проекциям, суммарный объем годового речного стока на всей территории суши увеличится даже несмотря на то, что есть районы, где сток значительно увеличится, и районы, где он значительно уменьшится. Однако увеличение объема стока не может быть в полной мере использовано до тех пор, пока не будет надлежащей инфраструктуры для сбора и хранения дополнительного количества воды. Над океанами прогнозируется увеличение показателя «испарение минус осадки».

3.2.1.1 Грунтовые воды

Изменение климата влияет на скорость пополнения грунтовых вод (т.е. возобновляемых ресурсов грунтовых вод) и на глубину их уровней. Однако имеется мало информации о текущем пополнении и сегодняшнем уровне грунтовых вод как в развитых, так и в развивающихся странах; проводилось мало исследований будущего влияния изменения климата на грунтовые воды или на взаимодействие грунтовых и поверхностных вод. В высоких широтах оттаивание в районах вечной мерзлоты вызывает изменения как уровня, так и качества грунтовых вод из-за взаимосвязи с поверхностными водами. [РГП,

15.4.1] Так как большая часть грунтовых вод одновременно переходит в поверхностные воды и пополняется за счет поверхностных вод, то ожидается, что режимы потока поверхностных вод окажут влияние на грунтовые воды. Повышение изменчивости осадков может уменьшить пополнение грунтовых вод во влажных районах, поскольку более частое выпадение сильных осадков может привести к более частому превышению инфильтрационной способности почвы. Однако в полувлажных и засушливых районах повышение изменчивости осадков может увеличить пополнение грунтовых вод, потому что только очень интенсивные дождевые осадки могут просочиться в грунт достаточно быстро до того, как начнется их испарение, а аллювиальные водоносные слои пополняются в основном за счет затопления, вызванного наводнениями. [РГП, 3.4.2]

По результатам глобальной гидрологической модели (см. рис.3.2) глобальная средняя величина пополнения грунтовых вод растет меньше, чем суммарный объем стока (на 2% по сравнению с 9% до 2050-х гг. по расчетам согласно сценарию A2 СДСВ при помощи модели климата ECHAM4: Döll and Flörke, 2005). По расчетам согласно всем четырем исследованным сценариям изменения климата (глобальные модели климата ECHAM4 и HadCM3 применительно к сценария выбросов A2 и B2 СДСВ¹³) пополнение грунтовых вод сократится к 2050-м годам более чем на 70% в северо-восточной части Бразилии, юго-западной части Африки, в южном регионе Средиземного моря. Однако в связи с тем, что в этом исследовании не учитывается ожидаемое увеличение изменчивости суточных сумм осадков, величина сокращения может быть несколько преувеличена. Там, где глубина уровня грунтовых вод увеличивается, а пополнение грунтовых вод сокращается, водно-болотные угодья, зависящие от водоносных слоев, подвергаются опасности, а базисный сток рек во время засушливых периодов уменьшается. В районах, в которых пополнение грунтовых вод, согласно расчетам, увеличится более чем на 30% к 2050 г. относятся Сахель, Ближний Восток, северная часть Китая, Сибирь и западная часть США. В областях, где уровень грунтовых вод уже высокий, увеличение пополнения может вызвать проблемы в городах и сельскохозяйственных районах вследствие засоления и заболачивания почвы. [РГП, 3.4.2]

Немногочисленные исследования последствий изменения климата для грунтовых вод в отношении отдельных водоносных слоев показывают результаты, сильно зависящие от конкретного места и от конкретной модели климата (например, Eckhardt and Ulbrich, 2003, для водосборного бассейна невысоко в горах в Центральной Европе; Brouyere et al., 2004, для мелового водоносного слоя в Бельгии). Например, в водоносном горизонте в районе Огаллалы по всем модельным расчетам при потеплении на 2,5°C и выше естественное пополнение грунтовых вод сократится более чем на 20% (Rosenberg et al., 1999). [РГП, 14.4] В результате изменения климата во многих водоносных горизонтах земного шара весеннее пополнение грунтовых вод сместится в направлении сокращения зимнего и летнего пополнения. [РГП, 3.4.2]

¹³ Описание моделей см. в приложении I.

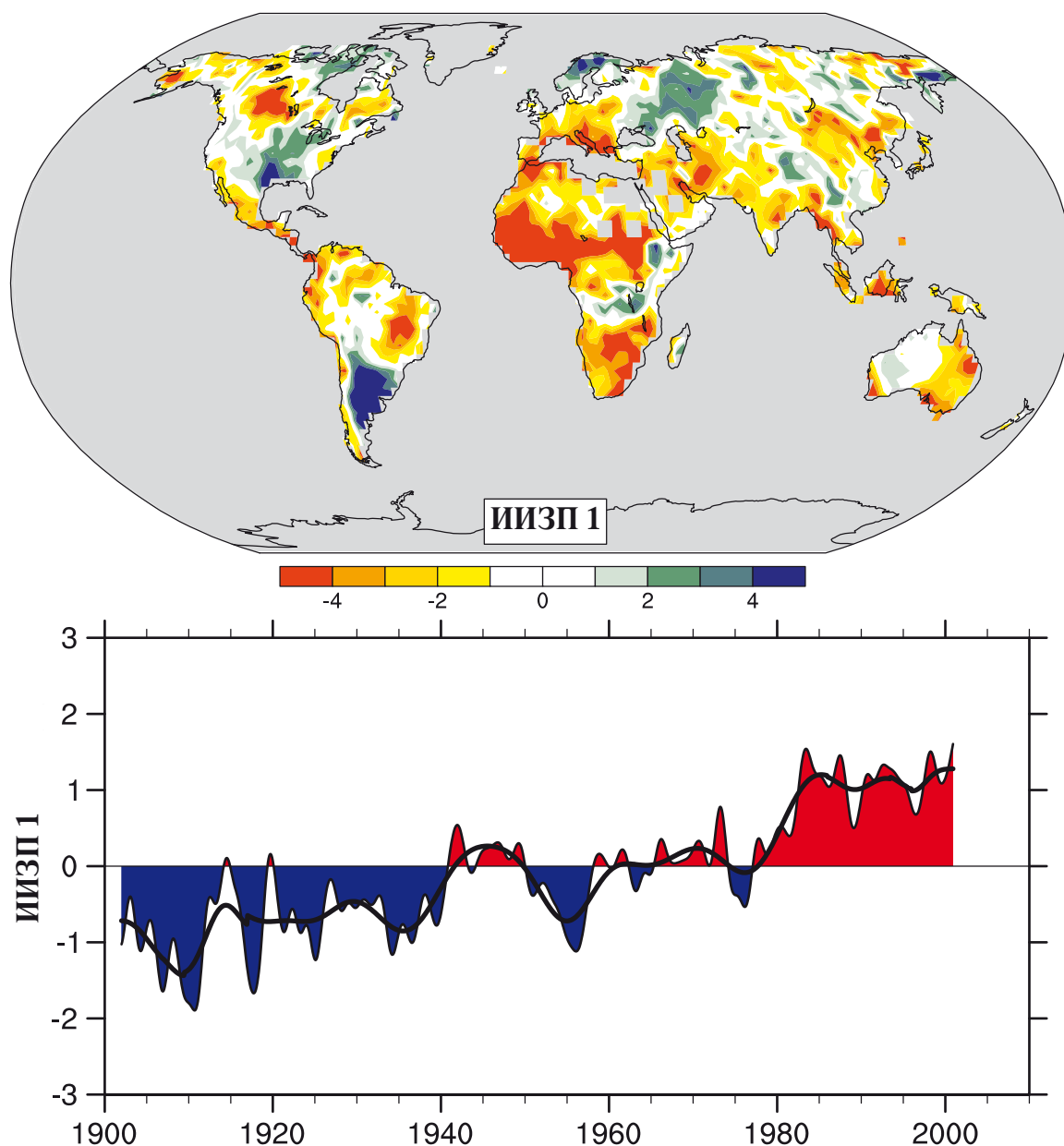


Рисунок 3.1: Важнейшая пространственная модель (первый компонент анализа главных компонент;верху) месячных значений Индекса интенсивности засухи Палмера (ИИЗП) для периода 1900-2002 гг. ИИЗП является индексом засухи, с помощью которого оценивается кумулятивный дефицит (относительно местных средних условий) влаги в поверхностном слое суши посредством включения предшествующих величин осадков и оценок количества влаги, поступившей в атмосферу (на основе температуры атмосферы), в систему гидрологического учета.¹⁴ На нижнем графике показано как знак и интенсивность модели изменились после 1900 г. Когда величины, показанные на нижнем графике, имеют положительный (отрицательный) знак, красным и оранжевым цветом на верхней карте обозначаются более сухие (или более влажные) области, а синим и зеленым цветом более влажные (или сухие) области по сравнению со средними условиями. Сглаженная кривая черного цвета показывает десятилетние колебания. Временной ряд приблизительно соответствует тренду, а доля этой модели и ее колебания в линейном тренде ИИЗП за период 1900-2002гг. для поверхности суши всего земного шара составляет 67%. Она, таким образом, показывает широкомасштабный рост засухи в Африке, особенно, например, в Сахеле. Следует также отметить более влажные области, особенно в восточной части Северной и Южной Америки и северной части Евразии (по материал Dai et al., 2004b). [РГП, ЧЗВ, 3.2]

¹⁴ Следует отметить, что ИИЗП не моделирует реалистически засуху в регионах, где осадки удерживаются в толще снежного покрова, например в полярных регионах.

3.2.1.2 Наводнения

Как отмечалось в разделе 2.3.1, согласно проекциям сильные осадки будут выпадать чаще в большинстве районов на протяжении всего XX века. Это повысит опасность внезапных паводков и наводнений в городах. [РГ1, 10.3.5, 10.3.6; РГП, 3.4.3] Некоторые потенциальные последствия показаны в табл. 3.2.

При проведении анализа с использованием нескольких моделей Пальмер и Раисанен (Palmer and Raisanen (2002)) прогнозировали значительное повышение опасности очень влажных зим на большей части центральных и северных районов Европы из-за более частого выпадения интенсивных осадков, вызванного штормами в средних широтах. При удвоении концентрации CO_2 ожидается,

что вероятность зимних осадков в бореальной зоне, превышающих два среднеквадратичных отклонения от нормального уровня, значительно повысится (в 5-7 раз) на значительной части территории Европы, что будет, *вероятно*, иметь в качестве последствий опасность наступления зимних паводков. Также прогнозируется повышение риска очень влажного сезона муссонов в Азии (Palmer and Raisanen, 2002). По мнению Милли и др. (Milly et al. (2002)), при увеличении концентрации CO_2 в 4 раза ожидается, что в 15 из 16 крупных бассейнов по всему миру контрольные 100-летние пиковые объемы месячного стока будут превышать чаще. В некоторых районах явление, которое сегодня определяется как 100-летнее наводнение (по результатам контрольного прогона), согласно проекциям, будет наблюдаться значительно чаще, даже

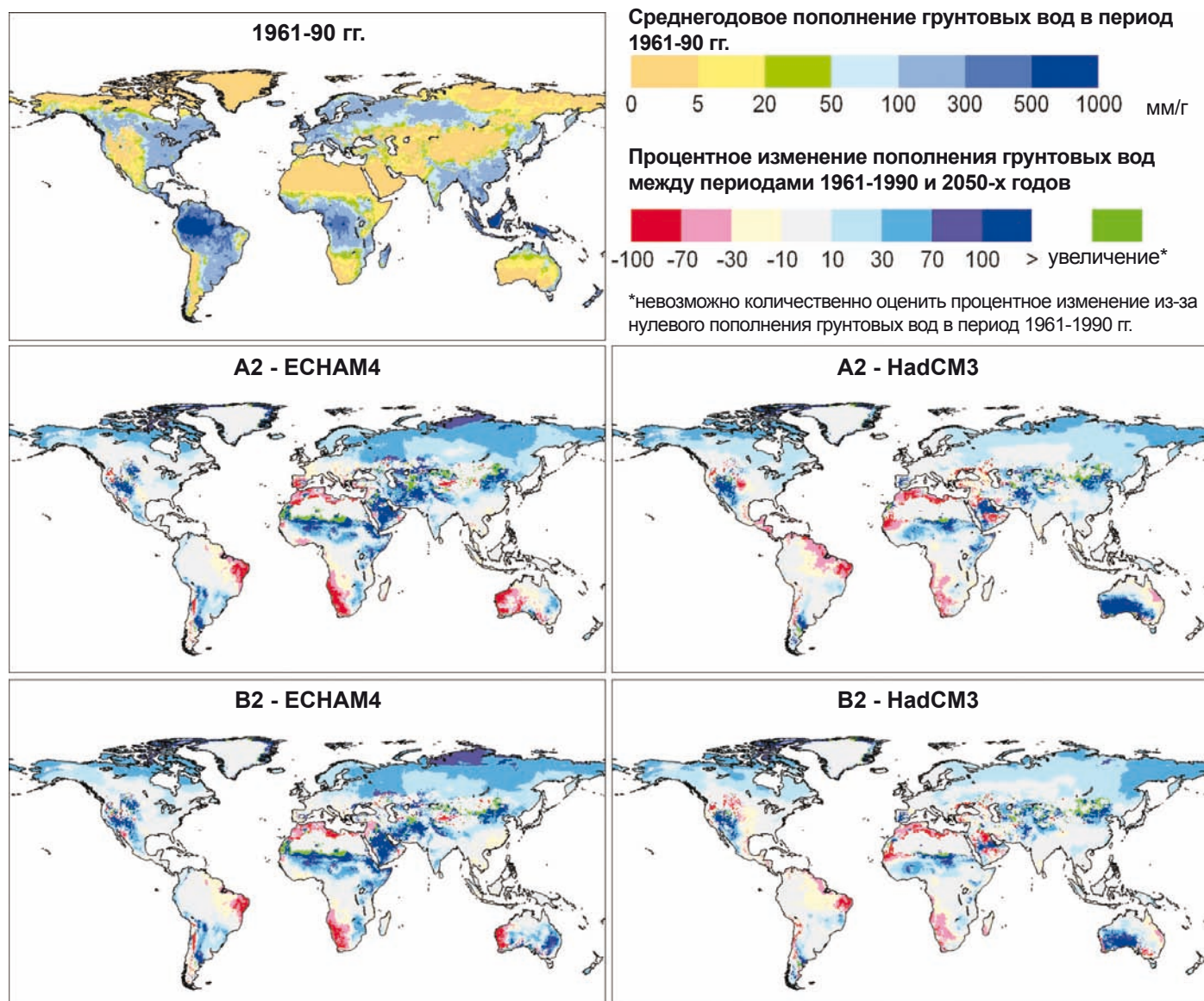


Рис. 3.2: Смоделированное воздействие изменения климата на долгосрочное среднегодовое пополнение грунтовых вод. Процентное изменение среднего за 30 лет уровня пополнения грунтовых вод между периодами 1961-1990 и 2050-х гг. (2041-2070 гг.) по расчетам с использованием глобальной гидрологической модели WGHM применительно к четырем различным сценариям изменения климата (на основе моделей климата ECHAM4 и HadCM3 и сценариев выбросов A2 и B2 СДСВ) (Döll and Flörke, 2005). [РГП, рис.3.5]

каждые 2-5 лет, хотя эти проекции имеют значительную неопределенность. Во многих районах с умеренным климатом воздействие снеготаяния на весенние паводки, вероятно, уменьшится. (Zhang et al., 2005). [РГП, 3.4.3]

На основе моделей климата прогнозируется, что площадь затопления в Бангладеш увеличится по меньшей мере на 23-29% при повышении глобальной температуры на 2°C (Mirza, 2003). [РГП, 3.4.3]

Обусловленное потеплением уменьшение фирнового покрова¹⁵ на ледниках ведет к повышенному и немедленному стоку талой воды, что может стать причиной паводков на реках с ледниковым питанием. [РГП, 3.4.3]

В оценках будущих изменений в частоте наводнений на территории Соединенного Королевства имеется некоторая степень неопределенности. В зависимости

Табл. 3.2: Примеры возможных последствий изменения климата в результате изменений в экстремальных метеорологических и климатических явлениях, связанных с осадками, на основании проекций на период с середины до конца XXI века. В них не учтено изменение и развитие способности к адаптации. Оценки вероятности в столбце 2 относятся к явлениям, перечисленным в столбце 1. Направление тренда и вероятность явлений указаны для проекций изменения климата, приведенных в СДСВ МГЭИК. [РГП, табл. РП; РГП, табл. РП]

Явление и направление тренда	Вероятность будущих трендов на основании проекций для XXI века с использованием сценариев СДСВ	Примеры основных прогнозируемых последствий в разбивке по секторам			
		Сельское хозяйство, лесное хозяйство и экосистемы [4.4, 5.4]	Водные ресурсы [3.4]	Здоровье человека [8.2,]	Промышленность, поселения и общество [7.4]
Случаи выпадения сильных осадков: частота растет в большинстве районов	Весьма вероятно	Ущерб сельскохозяйственным культурам; эрозия почвы; невозможность обрабатывать землю из-за заболачивания почв	Неблагоприятные последствия для качества поверхностных и грунтовых вод; загрязнение источников водоснабжения; дефицит воды может быть уменьшен	Повышения риска смертности, травматизма и инфекционных, респираторных и кожных болезней	Нарушение функционирования поселений, торговли, транспорта и общества по причине наводнений; нагрузки на городские и сельские инфраструктуры; потеря имущества
Площадь, затронутая засухой, увеличивается	Вероятно	Деградация земель, снижение урожая/частичная потеря урожая и неурожай; повышение уровня смертности скота, повышение риска стихийных пожаров	Более распространенный водный стресс	Повышение риска дефицита продовольствия и воды; повышение риска недоедания; повышение риска заболеваний, передающихся через воду и пищу	Нехватка воды для поселений, промышленности и населения; сокращения потенциала для выработки гидроэлектроэнергии; потенциальные возможности для миграции населения
Интенсивная тропическая циклоническая активность усиливается	Вероятно	Ущерб сельскохозяйственным культурам; вырывание деревьев с корнями ветром; повреждение коралловых рифов	Перебои энергоснабжения, вызывающие нарушение в снабжении водой для коммунально-бытовых целей	Повышение риска смертности, травматизма, заболеваний, передающихся через воду и пищу; посттравматические стрессовые расстройства	Разрушения в результате наводнений и сильных ветров; аннулирование частными страховщиками страхования рисков в уязвимых районах; потенциальные возможности для миграции населения; потеря имущества

^a Для получения более подробной информации, касающейся определений, см табл. 3.7 ДО4 РГП

¹⁵ Фирн: старый снег (еще пропускающий воду), который находится в переходном состоянии от снега к ледниковому льду (не пропускающему воду).

от используемой модели климата, степени важности снеготаяния, а также особенностей и местоположения водосборного бассейна, воздействие изменения климата на режим наводнений (масштаб и частота) может быть положительным или отрицательным, что подчеркивает, что в проекциях последствий изменения климата по-прежнему остается неопределенность (Reynard et al., 2004). [РГП, 3.4.3]

3.2.1.3 Засухи

Вероятно, что площадь, затронутая засухой, увеличится. [РГП, РП] Наблюдается тенденция к засушливости в средне-континентальных районах летом, что означает повышение риска засух в этих районах. [РГП, 10.Р] Исследование частоты глобальной засухи с использованием одной модели показало, что, согласно

полученным проекциям, площадь суши, одновременно подвергаемая воздействию экстремальной засухи, частота экстремальных засух и их средняя продолжительность увеличатся к 2090-м гг. по сценарию А2 СДСВ, в 10-30 раз, в 2 раза и в 6 раз, соответственно (Burke et al., 2006). [РГП, 10.3.6; РГП, 3.4.3] Сокращение количества летних осадков в южной и центральной частях Европы, сопровождаемое ростом температур (в результате которого повышается испаряемость), неизбежно приведет как к сокращению количества почвенной влаги в летний период (см.. Douville et al., 2002; Christensen et al., 2007), так и к более частым и интенсивным засухам. [РГП, 3.4.3] Как показано на рис. 3.3, прогнозируется, что 100-летняя засуха¹⁶ сегодняшнего масштаба будет повторяться в среднем чаще, чем каждые 10 лет, в некоторых частях Испании и Португалии, западной части Франции, в бассейне реки Висла в Польше и

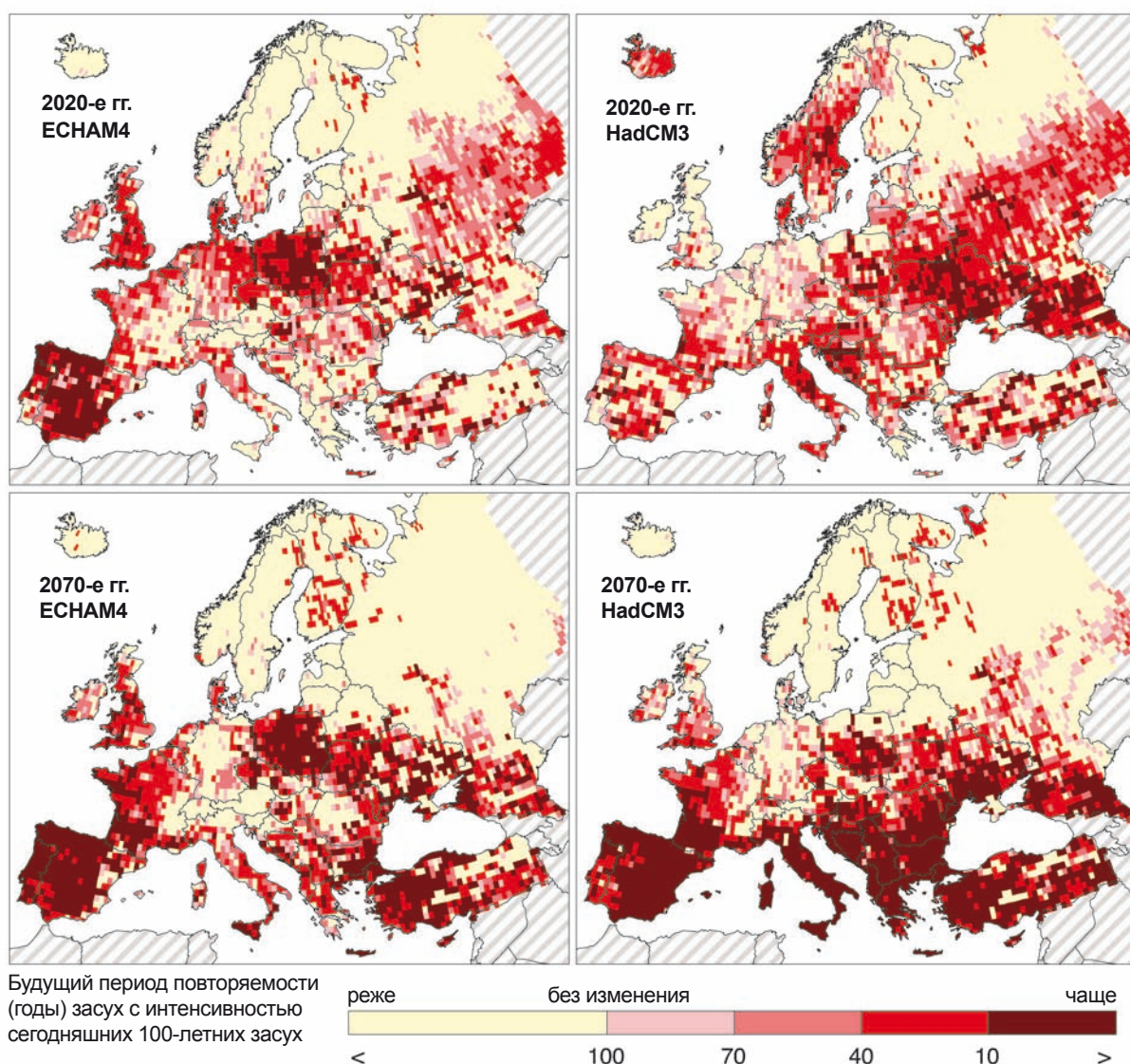


Рис. 3.3: Изменения повторяемости 100-летних засух в будущем на основе сравнений климата и водопользования в 1961-1990 гг. (Lehner et al., 2005) [РГП, рис.3.6].

¹⁶ Каждый год шанс превысить 100-летнее наводнение составляет 1%, в то время как шанс превысить 10-летнее наводнение составляет 10%.

в западной части Турции (Lehner et al., 2005). [РГП, 3.4.3] Некоторые последствия увеличения площади, затронутой засухой, показаны в табл.3.2. Согласно проекциям снеготаяние будет начинаться раньше и будет менее обильным, а это может повысить опасность засух в бассейнах рек со снеговым питанием в период низкого стока, т.е. летом и осенью. Повышения риска засухи прогнозируется для регионов, основное водоснабжение которых в сухой период сильно зависит от талой ледниковой воды (Barnett et al., 2005). В Андах с помощью талой ледниковой воды поддерживается речной сток и водоснабжение миллионов людей во время продолжительного сухого периода. Ожидается, что многие небольшие ледники, например в Боливии, Эквадоре и Перу (см. Ramirez et al., 2001; вставка 5.5), исчезнут в следующие несколько десятилетий. Водоснабжение в областях с питанием ледниковой и талой водой, поступающей с Гиндукуш и Гималаев, от которого зависят миллионы людей в Китае, Пакистане и Индии, подвергнется неблагоприятному воздействию. (Barnett et al., 2005). [РГП, 3.4.3]

3.2.1.4 Качество воды

Прогнозируется, что повышение температуры воды, рост интенсивности осадков и более продолжительные периоды низкого стока усугубят многие формы загрязнения воды, включая загрязнение наносами, питательными веществами, растворенным органическим углеродом, патогенами, пестицидами, а также солевое и тепловое загрязнение. Это будет способствовать цветению воды (Hall et al., 2002; Kumagai et al., 2003) и повышению содержания бактерий и грибов (Environment Canada, 2001). Эти процессы в свою очередь окажут воздействие на экосистемы, здоровье человека и надежность водохозяйственных систем и затраты на их эксплуатацию. [РГП, 3.Р]

Повышение температуры, *вероятно*, снизит качество воды в озерах вследствие роста термальной стабильности и изменения режимов перемешивания, что приведет к пониженному содержанию кислорода и повышенному количеству фосфора, выделяемого наносами. Например, уже высокие концентрации фосфора в летнее время в заливе озера Онтарио могут удвоиться с повышением температуры воды на 3-4°C (Nicholls, 1999). Однако повышение температур может также улучшить качество воды в зимний/летний период вследствие более раннего начала ледохода и последующего повышения уровней кислорода и меньшей гибели рыбы зимой. [РГП, 4.4.8, 14.4.1]

Более интенсивные дождевые осадки приведут к повышенному содержанию взвешенных твердых частиц (мутности) в озерах и водохранилищах вследствие эрозии речной почвы (Leemans and Kleidon, 2002), а также в озера и хранилища будут внесены загрязняющие вещества (Mimikou et al., 2000; Neff et al., 2000; Bouraoui et al., 2004). Ожидается, что прогнозируемое усиление интенсивности осадков даст в результате ухудшение качества воды, так как вызовет увеличение переноса патогенов и других загрязняющих веществ (например, пестицидов) в поверхностные и грунтовые воды и повышенную эрозию, которая, в свою очередь, приведет к активации поглощенных загрязняющих веществ, таких, как фосфор и тяжелые металлы. Кроме того, более частое выпадение

интенсивных осадков будет чаще создавать перегрузку для пропускной способности канализационных систем и станций обработки воды и очистки сточных вод. [РГП, 3.4.4] Более частые периоды низкого стока приведут к снижению способности к растворению загрязняющих веществ, и, таким образом, к повышению их концентраций, включая патогены. [РГП, 3.4.4, 14.4.1] В районах с общим снижением стока (например в полусухих районах) качество воды ухудшится даже еще более заметно.

В полусухих и сухих районах изменение климата, *вероятно*, усилит засоление грунтовых вод в верхних слоях почвы вследствие большей эвапотранспирации. [РГП, 3.4.2] Поскольку прогнозируется, что текущий поток понизится во многих полусухих областях, засоление рек и речных устьев усилится. [РГП, 3.4.4] Например ожидается, что уровень солености в верховьях бассейна рек Муррей и Дарлинг в Австралии вырастет к 2050 г. на 13-19% (Pittock, 2003). В целом, сокращение пополнения грунтовых вод, которое уменьшит активацию подземной соли, может уравновесить последствия пониженного растворения солей в реках и речных устьях. [РГП, 11.4]

В прибрежных районах повышение уровня моря может иметь негативные последствия для сбора ливневых вод и сброса сточных [РГП, 3.4.4] и увеличить потенциальные возможности для вторжения соленой воды в пресные грунтовые воды прибрежных водоносных слоев, оказывая, таким образом, негативное воздействие на ресурсы грунтовых вод. [РГП, 3.4.2] По расчетам, проведенным для двух небольших и невысоких коралловых островов у побережья Индии, толщина линз пресной воды уменьшится с 25 м до 10 м и с 36 м до 28 м, соответственно, при подъеме уровня моря всего лишь на 0,1 м. (Bobbie et al., 2000). Любое сокращение пополнения грунтовых вод усугубит воздействие повышения уровня моря. В удаленных от моря водоносных горизонтах сокращение пополнения грунтовых вод может привести к вторжению соленой воды из соседних соляных водоносных пластов (Chen et al., 2004). [РГП, 3.4.2]

3.2.1.5 Водяная эрозия и седиментация.

Все исследования эрозии почвы показывают, что рост интенсивности осадков ускорит темпы эрозии. [РГП, 3.4.2] Кроме того, смещение зимних осадков в результате повышения зимних температур от снега, вызывающего меньшую эрозию, к дождю, вызывающему большую эрозию, усилит эрозию, что приведет, например, к негативным последствиям для качества воды в сельскохозяйственных районах. [РГП, 3.4.5, 14.4.1]

Оттаивание в районах вечной мерзлоты ведет к тому, что почва переходит из состояния ее неподверженности эрозии к состоянию подверженности эрозии. [РГП, 3.4.5]. Дальнейшие косвенные последствия изменения климата для эрозии связаны с изменениями в почвенном и растительном покрове, вызванными изменением климата и соответствующими мерами по адаптации. [РГП, 3.4.5] Очень немногочисленные исследования влияния изменения климата на перенос наносов показывают, что объем переноса увеличится из-за усиления эрозии, особенно в районах с увеличившимся стоком. [РГП, 3.4.5]

3.2.2 Неклиматические факторы воздействия на пресноводные системы в будущем

Многие неклиматические факторы затрагивают пресноводные ресурсы в глобальном масштабе (ООН, 2003). На количество, также как и на качество водных ресурсов, влияют изменения в землепользовании, строительство водохранилищ и регулирование их работы, выбросы загрязняющих веществ, обработка воды и очистка сточных вод. Водопользование обусловлено изменениями в численности населения, потреблении продовольствия, экономике (включая установление цены на воду), технологии, образе жизни и общественном мнении относительно ценности пресноводных экосистем. Уязвимость пресноводных систем для изменения климата также зависит от управления водными ресурсами на национальном и международном уровне. Можно ожидать, что во всем мире все больше будут руководствоваться принципом «комплексного использования водных ресурсов» (КИВР)¹⁷ (ООН, 2002 г.; Всемирный банк, 2004а; Всемирный совет по водным ресурсам, 2006 г.) и что эта концепция обладает потенциальными возможностями для того, чтобы проблемы воды, как ресурса, так и экосистемы, стали центральным элементом процесса по выработке политики. Это, *вероятно*, понизит уязвимость пресноводных систем для изменения климата. Учет требований экологического дебита может привести к изменению правил эксплуатации водохранилищ с тем, чтобы использование человеком водных ресурсов водохранилищ можно было бы ограничить. [РГП, 3.3.2]

3.2.3 Последствия изменения климата для обеспеченности пресной водой в будущем

Что касается водоснабжения, то *весьма вероятно*, что в глобальном масштабе связанные с изменением климата затраты превзойдут выгоды. Одна из причин заключается в том, что, *весьма вероятно*, изменчивость осадков увеличится, и, как указано в разделах 2.1.6 и 2.3.1, ожидаются более частые наводнения и засухи. Риск засух в бассейнах с питанием рек за счет снеготаяния в период низкого стока увеличится, как указано в разделе 3.2.1. Последствия наводнений и засух можно смягчить посредством соответствующих инвестиций в инфраструктуру и изменений в регулировании водо- и землепользования, но такие меры влекут за собой затраты (Программа по исследованиям глобального изменения климата, США). Водохозяйственная инфраструктура, модели использования воды и соответствующие учреждения развивались в контексте сегодняшних условий. Любое существенное изменение в частоте наводнений и засух или количестве, качестве и сезонных сроках обеспеченности водой потребует корректировок, которые могут быть дорогостоящими не только в денежном отношении, но и с точки зрения социальных и экологических последствий,

включая необходимость регулирования потенциальных конфликтов между группами, имеющими разные интересы (Miller et al., 1997). [РГП, 3.5]

Гидрологические изменения могут иметь последствия, которые являются положительными, с одной стороны, и отрицательными, с другой. Например, увеличение объема годового стока может принести выгоды для разных водопользователей, как в пределах, так и вне русла реки, в связи с увеличением возобновляемых водных ресурсов, но также может принести вред в связи с повышением риска наводнений. В последние десятилетия тенденция к увеличению осадков в некоторых частях южных районов Южной Америки привела, с одной стороны, к увеличению площади территории, затопляемой наводнениями, а с другой – к повышению урожайности в области Пампасы в Аргентине и предоставлению новых возможностей для промышленного рыболовства (Magrin et al., 2005). [РГП, 13.2.4] Увеличение стока может также нанести вред районам с неглубоким уровнем грунтовых вод. В таких районах подъем уровня грунтовых вод может помешать сельскому хозяйству и повредить здания в городских районах. В России, например, текущий годовой ущерб от неглубокого уровня грунтовых вод оценивается в 5-6 млрд долларов США (Kharkina, 2004) и, *вероятно*, увеличится в будущем. Кроме того, увеличение объема годового стока не может привести к выгодному увеличению числа легкодоступных водных ресурсов, если этот дополнительный сток будет приходиться только на период высокого стока. [РГП, 3.5]

Рост интенсивности осадков может стать причиной периодической повышенной мутности поверхностных вод и повышенной концентрации в них питательных веществ и патогенов. Компания коммунального водоснабжения, обслуживающая Нью-Йорк, определила выпадение сильных осадков в качестве одной из основных проблем, связанных с изменением климата, потому что из-за сильных осадков уровень мутности в некоторых основных водоемах города может превысить установленные законом нормы качества воды при заборе из источника в 100 раз, что потребует значительных дополнительных затрат на очистку и мониторинг (Miller and Yates, 2006). [РГП, 3.5.1]

3.2.4 Последствия изменения климата для спроса на пресную воду в будущем

Повышение температур и усиление изменчивости осадков приведут, в целом, к росту спроса на воду для орошения, даже если суммарное количество осадков во время периода вегетации останется прежним. Воздействие изменения климата на оптимальные вегетационные периоды и на использование воды для орошения с целью получения максимального урожая было смоделировано исходя из предположения о том, что площадь орошения и/или изменчивость климата остаются неизменными (Döll, 2002; Döll et al., 2003). На основе сценариев A2 и B2 СДСВ

¹⁷ Преобладающая концепция водохозяйственной деятельности, которая, однако, однозначно не определена. КИВР основано на четырех принципах, сформулированных *Международной конференцией по воде и окружающей среде* (Дублин, 1992): (1) пресная вода – ограниченный и уязвимый ресурс, необходимый для сохранения жизни, развития и окружающей среды; (2) улучшение состояния водных ресурсов и управление ими должны опираться на совместные усилия пользователей, разработчиков планов и политиков на всех уровнях; (3) женщины играют главную роль в снабжении водой, управлении водными ресурсами и их защите; (4) вода имеет большую ценность для экономики во всех ее конкурирующих областях и должна признаваться экономическим благом.

МГЭИК, интерпретированных с помощью двух моделей климата, было спрогнозировано, что к 2020 г. чистые потребности в орошении в Китае и Индии - странах с самыми большими в мире орошаемыми территориями, изменятся в диапазоне от +2% до +15% в Китае и от -6% до +5% в Индии, в зависимости от сценариев выбросов и модели климата. (Döll, 2002; Döll et al., 2003). Разные модели климата прогнозируют разные изменения чистых потребностей в орошении по всему миру, при этом, по оценкам, увеличение этих потребностей будет колебаться от 1-3% к 2020-м гг. до 2-7% к 2070-м годам. Самое большое увеличение чистых потребностей в орошении в глобальном масштабе происходит согласно климатическому сценарию, основанному на сценарии выбросов В2. [РГП, 3.5.1]

В результате исследования орошения кукурузы в Иллинойсе в условиях, направленных на максимизацию прибыли, было определено, что 25-процентное сокращение годового количества осадков окажет такое же воздействие на рентабельность орошения, как и 15-процентное снижение в сочетании с удвоением среднеквадратичного отклонения в суточном количестве осадков (Eheart and Tornil, 1999). Это исследование также показало, что использование воды для орошения, направленное на максимизацию выгоды, заметнее реагирует на изменения в количестве осадков, чем использование воды для орошения, направленное на максимизацию урожая, и что удвоение концентрации CO_2 в атмосфере дает лишь небольшой эффект. [РГП, 3.5.1]

Увеличение спроса на воду для коммунально-бытовых (например, вследствие увеличения водопотребления для полива садов) и промышленных нужд в результате изменения климата, вероятно, будет довольно небольшим, например в некоторых выборочных местах оно составит к 2050-м гг. менее 5% (Mote et al., 1999; Downing et al., 2003). Косвенный, но небольшой добавочный эффект будет заключаться в увеличении потребности в электрической энергии для охлаждения зданий, что приведет к увеличению забора воды для охлаждения теплоэлектростанций. Статистический анализ водопотребления в Нью-Йорке показал, что суточное потребление воды в расчете на душу населения в дни, когда температура превышает 25°C , увеличивается на 11 литров/ $^\circ\text{C}$ (приблизительно 2% текущего суточного потребления в расчете на душу населения) (Protopapas et al., 2000). [РГП, 3.5.1]

3.2.5 Последствия изменения климата для водного стресса в будущем

Глобальные оценки числа людей, живущих в районах, подверженных водному стрессу, существенно различаются в разных исследованиях (Vorosmarty et al., 2000; Alcamo et al., 2003a,b, 2007; Oki et al., 2003; Arnell, 2004). Тем не менее, изменение климата является лишь одним из многих факторов, которые повлияют на водный стресс в будущем; демографические, социально-экономические и технологические изменения возможно играют более важную роль в большинстве временных масштабов и в большинстве регионов. В 2050-х гг. различия в проекциях численности населения по четырем сценариям СДСВ МГЭИК окажут большее воздействие на численность

населения, живущего в подверженных водному стрессу речных бассейнах, чем различия в сценариях климата (Arnell, 2004). Численность населения, живущего в подверженных водному стрессу речных бассейнах, значительно увеличится (табл. 3.3). Изменение численности населения, которое, согласно проекциям, будет жить в условиях водного стресса после 2050-х гг., в значительной мере зависит от выбранного сценария СДСВ. Существенно увеличение этой численности прогнозируется по сценарию А2, в то время как по сценариям А1 и В1 темпы увеличения ниже в связи с глобальным ростом возобновляемых ресурсов пресной воды и небольшим сокращением численности населения (Oki and Kanae, 2006). Следует отметить, что если использовать показатель водообеспеченности в расчете на душу населения, то окажется, что изменение климата снижает суммарный водный стресс на глобальном уровне. Это объясняется тем, что увеличение объемов стока в первую очередь сконцентрировано в наиболее густонаселенных районах Земного шара, в основном в Восточной и Юго-Восточной Азии. Однако с учетом того, что увеличение стока происходит, в основном, в сезоны высокого стока (Arnell, 2004), это может не смягчить проблем сухих сезонов, если не будут сделаны дополнительные запасы воды, и не ослабит водный стресс в других районах мира. Изменения в сезонном характере и растущая вероятность экстремальных явлений могут уравновесить эффекты увеличения годового объема имеющихся ресурсов пресной воды и демографических изменений. [РГП, 3.5.1]

Если оценивать водный стресс не только как функцию численности населения и изменения климата, но и как функцию изменяющегося водопользования, то возрастает значение неклиматических факторов (доходы, эффективность использования воды, продуктивность водных ресурсов и промышленное производство) (Alcamo et al., 2007). Рост доходов иногда оказывает большее влияние на увеличение водопользования и водный стресс, чем рост населения (если его выражать через соотношение забор воды/ водные ресурсы). По

Табл. 3.3 : Влияние роста населения и изменения климата на численность населения, живущего в подверженных водному стрессу речных бассейнах (бассейн подвержен водному стрессу, когда возобновляемые водные ресурсы в расчете на душу населения составляют менее 1000 м³/г) примерно в 2050 г. [РГП, табл. 3.2]

	Оценочная численность населения в речных бассейнах, подверженных водному стрессу, в 2050 г (в млрд чел)	
	Arnell (2004)	Alcamo et al. (2007)
1995 г.: исходные условия	1,4	1,6
2050 г.: сценарий выбросов А2	4,4–5,7	6,4–6,9
2050 г.: сценарий выбросов В2	2,8–4,0	4,9–5,2

Оценки основаны на сценариях выбросов для нескольких прогнозов модели климата. Предела определяются различными моделями климата и прогнозами моделей, которые использовались для преобразования показателей выбросов в сценарии климата.

результатам моделирования водный стресс к 2050-м гг. снизится на 20-29% и повысится на 62-76% общей территории суши (исходя из данных двух моделей климата и сценариев A2 и B2 СДСВ). Наличие большего количества воды вследствие увеличения количества осадков является основной причиной снижения водного стресса, в то время как заборы воды являются основной причиной его повышения. Было определено, что увеличение использования воды для коммунально-бытовых целей, стимулированное ростом доходов, является доминирующим (Alcamo et al., 2007). [РГП, 3.5.1]

3.2.6 Последствия изменения климата для затрат и других социально-экономических аспектов, связанных с пресной водой

Количество воды, доступное для забора, зависит от стока, пополнения грунтовых вод, характеристик водоносных слоев (степень изолированности, глубина, толщина и границы), качества воды и инфраструктуры водоснабжения (например, водохранилища, насосные скважины и распределительные сети). Безопасный доступ к питьевой воде больше зависит от уровня водохозяйственной инфраструктуры, чем от объема стока. Однако достижение цели, заключающейся в улучшении безопасного доступа к питьевой воде, будет труднее в районах, где объем стока и/или пополнения грунтовых вод уменьшается в результате изменения климата. Кроме того, изменение климата ведет к дополнительным затратам для сектора водоснабжения, например в связи с меняющимися уровнями воды, затрагивающими инфраструктуру водоснабжения, что может, вероятно, препятствовать расширению услуг по водоснабжению для охвата большего числа людей. Это, в свою очередь, ведет к ярко выраженным социально-экономическим последствиям и последующим затратам, особенно в районах, где существующий водный стресс также усилился в результате изменения климата. [РГП, 3.5.1]

Вызванные изменением климата изменения как в режиме сезонного стока, так его межгодовой изменчивости, могут иметь такое же важное значение для обеспеченности водой, как и изменения в долгосрочном среднегодовом уровне стока (Программа по исследованиям глобального изменения климата, США, 2000 г.). На людей, живущих в бассейнах рек, пополняемых за счет снеготаяния, в которых зимой наблюдается снижение запасов снега, негативное влияние может оказать снижение объемов летнего и осеннего речного стока (Barnet et al., 2005). Например Рейн может пострадать в результате сокращения в летний период низких стоков на 5-12% к 2050-м годам, что отрицательно скажется на водоснабжении, в частности для теплоэлектростанций (Middelkoop et al., 2001). Исследования бассейна реки Эльба показали, что, согласно проекциям, объем нынешней эвапотранспирации к 2050 г. увеличится (Krysanova and Wechsung, 2002), в то время как речной сток, пополнение грунтовых вод, урожайность и загрязнение из рассредоточенных источников, вероятно, уменьшатся (Krysanova et al., 2005). [РГП, 3.5.1]

В западной части Китая в результате более раннего начала весеннего снеготаяния и уменьшения массы ледников, вероятно, сократится предоставление воды

для орошаемого сельского хозяйства. Для Китая была проведена оценка инвестиций и эксплуатационных расходов на дополнительные скважины и водохранилища, необходимые для гарантированного водоснабжения в условиях изменения климата. Расходы низкие в бассейнах, где сегодняшний уровень водного стресса низкий (например, Янцзы), и высокие там, где уровень водного стресса высокий (например, река Хуанхэ) (Kirshen et al., 2005a). Кроме того, влияние изменения климата на расходы на водоснабжение в будущем будет расти не только из-за более сильного изменения климата, но и в связи с ростом спроса. [РГП, 3.5.1]

В зоне одного из водоносных слоев в Техасе прогнозируется, что в связи с уменьшением водоснабжения на цели орошения и увеличением спроса на воду для орошения к 2030-м гг. чистый доход фермеров снизится на 16-30%, а к 2090 гг. – на 30-45%. Совокупная чистая прибыль снизится, поскольку, согласно оценкам, использование воды (в основном для коммунально-бытовых и промышленных нужд) за тот же период сократится менее чем на 2% (Chen et al., 2001). [РГП, 3.5.1]

Если в связи с изменением климата пресную воду придется заменять опресненной водой, то тогда затраты, связанные с изменением климата, будут включать и среднюю стоимость опреснения, которая в настоящее время составляет для морской воды приблизительно 1 долл. США/м³, а для солоноватой воды - 0,60 долл. США/м³ (Zhou and Tol, 2005). Стоимость хлорирования пресной воды составляет приблизительно 0,02 долл. США/м³. В густонаселенных прибрежных районах Египта, Китая, Бангладеш, Индии и Юго-Восточной Азии (ФАО, 2003 г.) затраты на опреснение могут быть непомерно высокими. В этих районах, особенно в Египте, для сокращения расходов необходимо проводить исследования по разработке новой технологии опреснения, в особенности с использованием нетрадиционных источников энергии, которые характеризуются более низкими уровнями выбросов парниковых газов. Кроме того, опреснение солоноватой воды может улучшить экономические показатели таких проектов (см. раздел 4.4.4). [РГП, 3.5.1]

Ущерб от наводнений в будущем будет в значительной мере зависеть от типа поселений, решений в области землепользования, качества прогнозирования наводнений, систем предупреждения и реагирования, ценности сооружений и другой собственности, находящихся в уязвимых районах (Mileti, 1999; Pielke and Downton, 2000; Changnon, 2005), а также от самих климатических изменений, таких, как изменения в частоте тропических циклонов (Schiermeier, 2006). [РГП, 3.5.2]

Влияние изменения климата на ущерб от наводнений можно прогнозировать на основе смоделированных изменений в интервале повторяемости сегодняшних 20-летних или 100-летних наводнений в сочетании с данными об ущербе от наблюдаемых в настоящее время наводнений, полученных на основе соотношения между приходом и расходом воды и подробной информации о собственности. При использовании такой методологии прогнозируется, что среднегодовой прямой ущерб от наводнений для трех австралийских дренажных бассейнов

увеличится в 4-10 раз при удвоении концентраций CO_2 (Schreider et al., 2000). [РГП, 3.5.2]

Чои и Фишер (Choi and Fisher (2003)) оценили ожидаемые изменения в размере ущерба от наводнений для отдельных районов США по двум сценариям изменения климата, согласно которым средняя сумма годовых осадков увеличилась на 13,5% и на 21,5%, соответственно, при этом среднеквадратическое отклонение годового количества осадков либо не менялось, либо увеличивалось пропорционально средней величине отклонения. Расчеты по структурной эконометрической модели (модели регрессии) на основе временного ряда данных об ущербе от наводнений с использованием в качестве предикторов показателей численности населения, благосостояния населения и годового количества осадков показали, что средняя величина отклонения и среднеквадратическое отклонение в размере ущерба от наводнений увеличатся более чем на 140%, если средняя величина отклонения и среднеквадратическое отклонение в годовом количестве осадков увеличатся на 13,5%. Такие расчеты показывают, что ущерб от наводнений в первую очередь связан с подверженностью населения стихийным опасным явлениям из-за отсутствия социальной инфраструктуры, так как объяснительная сила модели, включающей показатели численности населения и благосостояния населения, составляет 82%, в то время как при добавлении показателя осадков она увеличивается до 89%. [РГП, 3.5.2]

В другом исследовании рассматривались последствия изменений в выпадении сильных осадков для потенциального ущерба от наводнений, при этом использовалась модель Канадского климатического центра и сценарий IS92a для района Большого Бостона в северо-восточной части США (Kirshen et al., 2005b). В результате исследования установлено, что без инвестиций на адаптацию как количество объектов собственности, пострадавших от наводнений, так и общий размер ущерба от наводнений к 2010 г. удвоятся по сравнению с тем, что можно было бы ожидать при отсутствии изменения климата. Также установлено, что связанные с наводнениями задержки в осуществлении транспортных перевозок в течение столетия будут становиться все более значительным неудобством. По результатам исследования было сделан вывод о том, что экономический размер ущерба от наводнений достаточно высок для обоснования крупных расходов на стратегии по адаптации, такие, как создание универсальной системы противопаводковой защиты в поймах рек. [РГП, 3.5.2]

Такие выводы также подкрепляются результатами исследования ущерба от паводков на реках и затопления прибрежных территорий в Англии и Уэльсе в 2080-х гг., в рамках которого четыре сценария выбросов были объединены с четырьмя сценариями социально-экономических изменений по типу СДСВ (Hall et al., 2005). По всем сценариям прогнозируется, что ущерб будет расти, если не внести изменения в политику, практику и инфраструктуру регулирования паводков. К 2080-м гг. годовой ущерб по сценарию B1 вырастет до 5 млрд фунтов стерлингов по сравнению с 1 млрд фунтов стерлингов

сегодня, в то время как приблизительно с тем же изменением климата по сценарию B2 он вырастет только до 1,5 млрд фунтов стерлингов. Оба сценария, как B1, так и B2, дают приблизительно одинаковые результаты, если полученные цифры стандартизировать с учетом валового внутреннего продукта. По сценарию A1 годовой ущерб к 2050-м гг. составит 15 млрд фунтов стерлингов, а к 2080-м гг. – 21 млрд фунтов стерлингов (Evans et al., 2004; Hall et al., 2005). [РГП, 3.5.2]

Увеличение продолжительности периодов наводнений в будущем может чаще служить причиной сбоев в судоходстве, а продолжительность периодов низкого стока, во время которых ограничена погрузка судов, увеличится. Например, период ограничений на погрузку судов на реке Рейн может увеличиться с 19 дней в условиях сегодняшнего климата до 26-34 дней в 2050-х гг. (Middelkoop et al., 2001). [РГП, 3.5.1]

Изменение климата, *вероятно*, изменит расход воды в реках, что будет иметь важные последствия для использования воды в пределах русла рек, в частности для выработки гидроэнергии. Оценка последствий для гидроэнергетики Европы проводилась с использованием макромасштабной гидрологической модели. Результаты показывают, что к 2070-м гг. потенциал выработки электроэнергии гидроэлектростанциями по состоянию на конец XX века возрастет (при условии выбросов по сценарию IS92a) на 15-30% в Скандинавии и северной части России, где в настоящее время от 19% (Финляндия) до почти 100% (Норвегия) электроэнергии дает гидроэнергетика (Lerner et al., 2005). Для Португалии, Испании, Украины и Болгарии, где в настоящее время от 10% (Украина, Болгария) до 39% электроэнергии дает гидроэнергетика, прогнозируется снижение потенциала гидроэнергетики на 20-50%. В целом для Европы (где доля гидроэнергетики в выработке электроэнергии составляет 20%) к 2070-м гг. прогнозируется снижение потенциала гидроэнергетики на 7-12%. [РГП, 3.5.1]

В Северной Америке потенциальное сокращение оттока воды из Великих озер может привести к значительным экономическим потерям в результате уменьшения выработки гидроэнергии на Ниагаре и реке Святого Лаврентия (Logren et al., 2002). Согласно проекции, подготовленной с использованием модели CGCM1, при глобальном потеплении на 2°C выработка гидроэлектроэнергии на реках провинции Онтарио Ниагара и Святого Лаврентия снизится на 25-35%, что приведет к ежегодным потерям на сумму 240-350 млн канадских долларов в ценах 2002 г. (Buttle et al., 2004). Однако расчеты по модели климата HadCM3¹⁸ показали небольшое повышение потенциала гидроэнергетики (+3%), что составляет примерно 25 млн канадских долларов в год. Результаты другого исследования, в котором использовался ряд сценариев на основе моделей климата, показали, что глобальное потепление на 2°C может сократить выработку гидроэнергии на реке Святого Лаврентия на 1-17% (LOSLR, 2006). [РГП, 3.5.1]

¹⁸ Описания моделей см. в приложении I.

3.2.7 Пресноводные районы и сектора, особо уязвимые для изменения климата

Во многих районах земного шара последствия изменения климата для ресурсов пресной воды могут затрагивать устойчивое развитие и подвергать риску, например, меры по уменьшению масштабов нищеты и детской смертности. Даже при оптимальном управлении водными ресурсами, *весьма вероятно*, не удастся избежать отрицательных последствий для устойчивого развития. На рис. 3.4 показан ряд ключевых примеров по всему миру, когда последствия изменения климата для пресноводных ресурсов представляют угрозу для устойчивого развития в затронутых регионах. Большой частью устойчивое управление водными ресурсами пытаются осуществлять посредством комплексного использования водных ресурсов (КИВР: определение см. в сноске 17). Однако точная интерпретация этого термина колеблется в значительных пределах. Все определения непосредственно включают концепцию сохранения и улучшения окружающей среды, и особенно водной среды, с учетом интересов конкурирующих водопользователей и состояния экосистем и водно-болотных угодий в пределах русла рек. В них также принимаются во внимание более широкие последствия водохозяйственной политики для окружающей среды,

такие, как последствия водохозяйственной политики для землеустройства, и, наоборот, последствия политики в области землеустройства для водной среды. Регулирование водопользования является важным компонентом рационального использования воды с целью обеспечения устойчивых водных ресурсов для ряда политических, социально-экономических и административных систем (GWP, 2002; Eakin and Lemos, 2006). [РГП, 3.7]

3.2.8 Неопределенности в проекциях последствий изменения климата для пресноводных систем

Неопределенности в последствиях изменения климата для водных ресурсов обусловлены главным образом неопределенностью в количестве осадков и, в меньшей степени, неопределенностями в выбросах парниковых газов (Döll et al., 2003; Arnell, 2004), в чувствительности климата к воздействиям (Prudhomme et al., 2003) или в самих гидрологических моделях (Kaspar, 2003). Следующий источник неопределенности, касающийся проецируемых последствий изменения климата для водных ресурсов, связан с характером, масштабом и относительным успехом тех инициатив и мер, которые уже запланированы в качестве ответных действий. Последствия, показанные на рис.3.4, будут наступать по-разному в зависимости

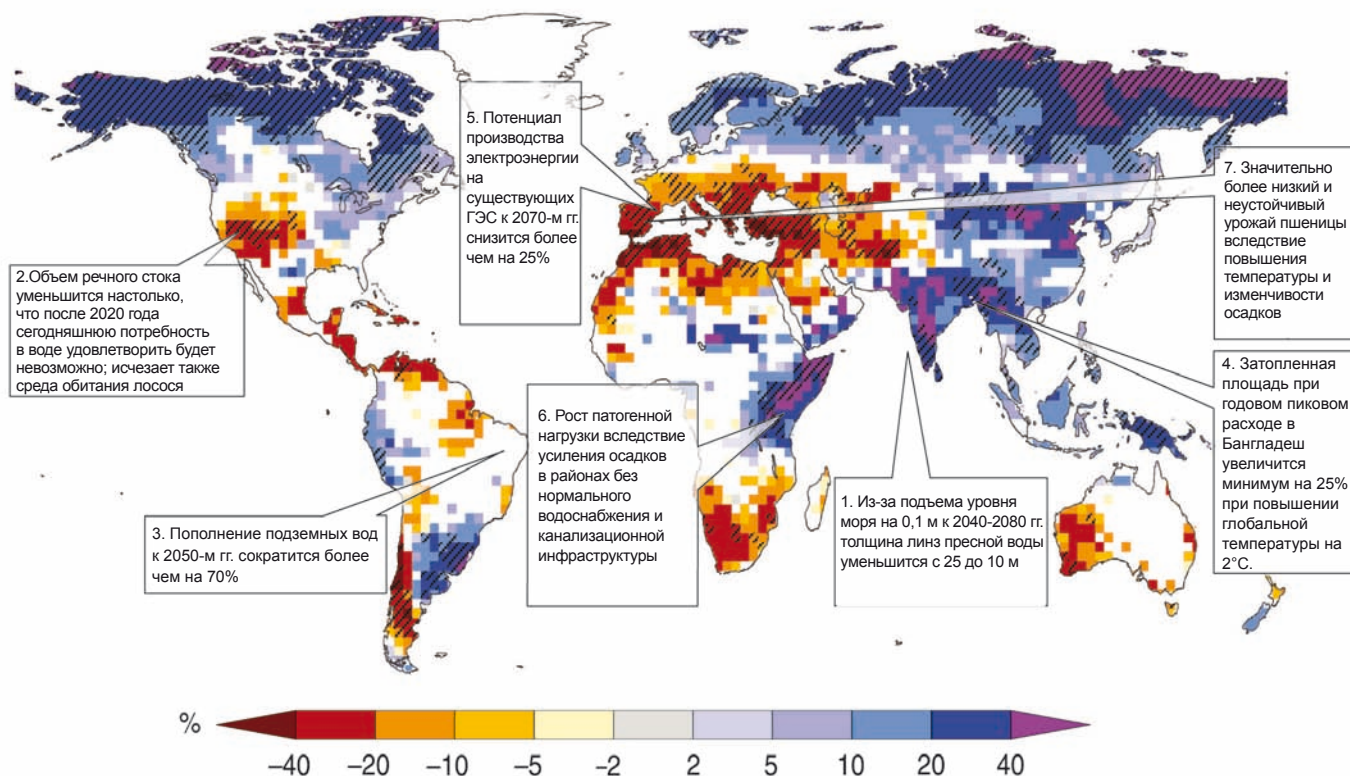


Рис.3.4: Иллюстративная карта будущих последствий изменения климата для пресной воды, которые являются угрозой устойчивому развитию затронутых регионов. 1: Bobba et al. (2000), 2: Barnet et al. (2004), 3: Döll and Flörke (2005), 4: Mirza et al. (2003), 5: Lerner et al. (2005), 6: Kistemann et al. (2002), 7: Porter and Semenov (2005). Справочная карта, см. рис.2.10: Ансамблевое среднее изменение годового стока (%) между периодами 1980-1999 гг. и 2090-2099 гг. по сценарию выбросов A1B СДСВ (на основе данных Milly et al., 2005). Синим (красным) цветом обозначено увеличение (уменьшение) годового стока. [На основе РГП, рис.3.8, и ОД, рис. 3.5]

от предпринятых мер по адаптации. Обратные связи, обусловленные мерами по адаптации к изменению климата, не в полной мере учтены в сегодняшних предсказаниях на будущее, таких, как более продолжительный вегетационный период сельскохозяйственных культур, дополнительное регулирование речного стока с увеличением запаса воды в водохранилищах. Сравнение разных источников неопределенности в статистических данных о наводнениях, полученных по двум водосборным бассейнам Соединенного Королевства (Kay et al., 2006a), привело к заключению о том, что самым крупным источником неопределенности является структура МОЦ, затем следуют сценарии выбросов и гидрологическое моделирование. Аналогичные заключения были сделаны Прудомом и Дэвисом (Prudhomme and Davies (2006)) в отношении статистических данных по среднемесячному стоку и низкому стоку в Великобритании. [РГП, 3.3.1]

При оценке неопределенности в последствиях изменения климата для водных ресурсов предпочтительнее использовать вероятностные методы с применением нескольких моделей вместо выходных данных одной климатической модели. После ТДО в ряде исследований гидрологических последствий использовались данные нескольких моделей климата (например, Арнелл (Arnell (2004)) для оценки последствий в глобальном масштабе и Джаспер и др. (Jasper et al. (2004)) для оценки последствий в масштабе речного бассейна), но исследования с использованием вероятностных оценок проводятся редко. [РГП, 3.3.1]

Во многих исследованиях временные ряды наблюдаемых климатических величин корректировались посредством рассчитанного изменения в климатических переменных, чтобы получить сценарии, согласующиеся с сегодняшними условиями. Цель этих корректировок заключается в том, чтобы минимизировать последствия ошибки в моделировании климата с помощью МОЦ, при условии, что погрешности в моделировании климата имеют одинаковую величину для текущих и будущих сроков прогнозирования. Это особенно важно для проекций осадков, где различия между величинами, полученными путем наблюдения, и величинами, рассчитанными с помощью климатических моделей, существенны. [РГП, 3.3.1]

Изменения в межгодовой или суточной изменчивости климатических переменных часто не учитываются в исследованиях гидрологических последствий. Это ведет к недооценке будущих наводнений и засух, а также водообеспеченности и потребностей в воде для орошения. [РГП, 3.3.1] Выбор показателей и пороговых значений для количественной оценки влияния изменения климата на водные ресурсы также является источником неопределенности.

Для преодоления несоответствия пространственных масштабов сетки между МОЦ и гидрологическим процессами были разработаны методы уменьшения масштаба выходной продукции МОЦ, чтобы получить более высокое пространственное (и временное) разрешение. [РГП, ТДО, глава 10] При этой методике исходят из предположения о том, что статистические связи, выявленные для нынешнего климата, останутся

в силе после изменений будущих условий. Методы уменьшения масштаба могут позволить разработчикам моделей учесть суточную изменчивость в будущих изменениях (например, Диас-Ньето и Уилби (Diaz-Nieto and Wilby, 2005)) и применить вероятностную схему для подготовки информации по будущим речным стокам для планирования водных ресурсов (Wilby and Harris, 2006). Такие подходы помогают сравнить различные источники неопределенности, влияющие на проекции водных ресурсов. [РГП, 3.3.1]

Работа по количественной оценке последствий связанных с климатом изменений в водных ресурсах затрудняется недостатком данных и тем фактом, что на эти оценки сильно влияют как методы оценки, так и различные допущения относительно распределения изменений в обеспеченности водой между различными видами водопользования, например между использованием воды для сельского хозяйства, городских нужд и в пределах русла (Changnon, 2005; Schlenker et al., 2005; Young, 2005). [РГП, 3.5]

3.3 Связанная с водными ресурсами адаптация к изменению климата: обзор

Управляющим водохозяйственной деятельностью приходится в течение долгого времени иметь дело с меняющимся спросом на водные ресурсы. До сих пор управляющие водохозяйственной деятельностью в основном предполагали, что база природных ресурсов в среднесрочной перспективе остается постоянной и что, таким образом, прошлый опыт в области гидрологии обеспечит хорошее руководство для работы в будущих условиях. Изменение климата подвергает сомнению это традиционное предположение и может внести изменения в системы управления водным хозяйством. [РГП, 3.6.1] Реагирование в области управления водохозяйственной деятельностью на изменение климата может включать разработку новых подходов к оценке и проектированию систем, а также неструктурные методы, основанные на таких механизмах, как Рамочная директива Европейского Союза по воде. [РГП, 12.2.2]

В табл. 3.4 кратко обобщаются варианты адаптации, ориентированные на спрос и предложение и разработанные для обеспечения водоснабжения в обычных условиях и в условиях засухи. Варианты, ориентированные на предложение, как правило предполагают увеличение полезного объема водохранилищ или забора воды из водотоков и, таким образом, могут иметь неблагоприятные последствия для окружающей среды. Вариантам, ориентированным на спрос, может не хватать практической эффективности, потому что они опираются на совместные действия отдельных лиц. Некоторые варианты могут не соответствовать мерам по смягчению последствий, потому что предполагают высокий уровень потребления энергии, например опреснение, выкачивание.

Часто проводят различие между автономной и плановой адаптацией. *Автономная адаптация* – это адаптация,

Табл. 3.4: Некоторые варианты адаптации водоснабжения, ориентированные на предложение и спрос (перечень не является исчерпывающим). [РГП, табл. 3.5]

Ориентированные на предложение	Ориентированные на спрос
Разведка и извлечение грунтовых вод	Повышение эффективности водопользования посредством повторного использования воды
Увеличение емкостей посредством строительства водохранилищ и плотин	Сокращение спроса на воду для орошения посредством изменения сроков выращивания культур, их ассортимента, метода орошения и размеров возделываемой площади
Опреснение морской воды	Сокращение спроса на воду для орошения посредством импорта сельскохозяйственных продуктов, т.е. виртуальная вода
Увеличение объемов накопления дождевых вод	Поощрение местной практики устойчивого использования водных ресурсов
Удаление инвазивных неместных видов растительности из береговой зоны водоемов	Расширенное использование рынков воды с целью перераспределения воды для высоко ценных видов использования
Переброска воды	Расширенное использование экономических стимулов, включая учет расхода воды и установление цены на нее, чтобы содействовать сохранению водных ресурсов

которая не представляет собой сознательную ответную реакцию на климатические воздействия, но является результатом изменений, направленных на удовлетворение изменившихся потребностей, реализацию новых задач и ожиданий, которые, несмотря на то, что они специально не предназначены для решения проблемы изменения климата, могут смягчить последствия этого изменения. Такая адаптация широко распространена в водохозяйственном секторе, хотя степень ее эффективности в решении проблемы изменения климата разная (см. табл. 3.5). [РГП, 3.6.1] В Латинской Америке некоторые виды автономной адаптации нашли применение, включая регулирование межбассейновых отводов воды и оптимизацию водопользования. [РГП, 13.5.1.3] В Африке местные общины и фермеры разработали программы адаптации для прогнозирования дождевых осадков на основе использования местного опыта. Фермеры в Сахели также используют традиционные системы сбора поверхностного стока для дополнения используемой практики орошения. [РГП, 9.6.2.1, 9.5.1, табл.9.2].

Плановая адаптация является результатом обдуманных политических решений и конкретно учитывает изменение и изменчивость климата, но до настоящего времени осуществлялась нечасто. Управляющие водохозяйственной деятельностью в нескольких странах, включая Нидерланды, Австралию, СК, Германию, США и Бангладеш, начали непосредственно рассматривать решение проблемы последствий изменения климата в качестве части своей обычной работы по регулированию паводков и обеспечению водоснабжения. [РГП, 3.2, 3.6.5, 172.2]. Такая адаптация обычно проводится посредством внесения изменений в методики и регламенты, такие, как проектно-конструкторские нормативы или расчет нормативов с учетом изменения климата. Например, такая адаптация осуществлялась в отношении обеспечения готовности к наводнениям в СК и Нидерландах (Klijn et al.; 2001; Richardson, 2002), водоснабжения в СК (Arnell and Delaney, 2006) и в отношении планирования водохозяйственной деятельности в целом в Бангладеш. [РГП, 3.6.5, 172.2] Примеры «конкретных» действий в водохозяйственном

секторе по адаптации непосредственно и исключительно к изменяющемуся климату встречаются очень редко. Это частично объясняется тем, что изменение климата может быть всего лишь одним из факторов, затрагивающих стратегии и планы инвестиций (и он может быть не самым важным фактором в краткосрочной перспективе планирования), и частично неопределенностью в проекциях будущих гидрологических изменений.

Адаптацию к изменениям в обеспеченности водой и качестве воды необходимо осуществлять не только водохозяйственным организациям, но отдельным пользователям водной среды. К ним относятся промышленность, фермеры (особенно, те, кто использует воду для полива) и отдельные потребители. Несмотря на то, что имеется богатый опыт адаптации к меняющемуся спросу и законодательству, о том, как такие организации смогут адаптироваться к меняющемуся климату, известно мало.

В табл. 3.5 в общих чертах описаны некоторые меры по адаптации, как плановой, так и автономной, которые предпринимаются в мире в настоящее время и которые представлены в ДО4 РГП в главах, касающихся региональных аспектов. Таблица не является исчерпывающей, и во многих местах может быть предпринято множество специфических для конкретного места мер.

Имеется *высокая степень достоверности* того, что адаптация уменьшит уязвимость, особенно в краткосрочной перспективе. [РГП, 172, 18.1, 18.5, 20.3, 20.8] Способность к адаптации тесно связана с социально-экономическим развитием, но она является разной у разных социальных групп и в самих этих группах. У бедных, пожилых, женщин, больных и коренного населения, как правило, эта способность ниже. [РГП, 71, 72, 74, 173]

Можно определить пять разных типов ограничений адаптации к воздействиям изменения климата. [РГП, 174.2] а) *Физические или экологические*: может оказаться невозможным предотвращение неблагоприятных

Табл. 3.5: Некоторые примеры адаптации на практике

Регион	Мера по адаптации	Источник
Африка	- Сезонные прогнозы, их выпуск, распространение, осознание и интеграция в системы поддержки принятия решений, основанные на использовании моделей. - Повышение устойчивости к вызываемому засухой стрессу в последующие периоды благодаря совершенствованию современных систем неорошаемого земледелия посредством улучшения физической инфраструктуры, включая: системы сбора воды; строительство плотин; охрану и рациональное использование водных ресурсов, и приемы земледелия; капельное орошение; развитие засухоустойчивых и раннеспелых сортов культур и альтернативных сортов культур и гибридов.	РГII, 9.5, табл. 9.2
Азия	Улучшение сельскохозяйственной инфраструктуры, включая: - водоснабжение пастбищ; - системы орошения и их эффективность; - использование/хранение дождевой и снеговой воды; - систему обмена информацией о новых технологиях на национальном, а также региональном и международном уровнях; - доступ пастухов, рыбаков и фермеров к своевременным метеорологическим прогнозам (осадков и температуры); - повторная обработка и повторное использование городских сточных вод, например в Сингапуре; - сокращение потерь и утечки воды и использование ориентированных на рынок подходов для сокращения расточительного использования воды.	РГII, 10.5, табл. 10.8 РГII, 10.5.2
Австралия и Новая Зеландия	- Национальная инициатива по водным ресурсам. - Водоочистные сооружения для оборотного цикла водоснабжения. - Меры по сокращению потерь воды из каналов и охране и рациональному использованию воды. - Замена открытых оросительных каналов трубопроводами. - Повышение эффективности и качества водопользования. - Обеспечение готовности к засухам, установление новых цен на воду. - Установка ливневых колодцев. - Опреснение морской воды.	РГII, 11.2 табл.11.2, вставка 11.2; см. табл. 5.2 в этом документе
Европа	- Стратегии, ориентированные на спрос, такие, как охрана и рациональное использование водных ресурсов для коммунально-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных нужд; ремонт в высокогорной местности водохранилищ с утечкой, поставляющих воду для коммунально-бытовых нужд и для орошения, и ремонт дамб в низменных районах. - Расширение площади пойм, водохранилищ для регулирования чрезвычайных паводков, мест для отвода паводковых вод и систем предупреждения о паводках, особенно для внезапных паводков. - Меры, ориентированные на предложение, такие, как перекрытие рек для образования русловых водохранилищ, системы повторного использования сточных вод и опреснения воды и установление цены на воду. - Включение региональных стратегий и стратегий водосбора в планы комплексного управления водными ресурсами в целях адаптации к изменению климата.	РГII, 12.5.1
Латинская Америка	- Системы сбора и хранения дождевой воды. - Программы «самоорганизации» для совершенствования систем водоснабжения в очень бедных общинах. - Практика охраны и рационального использования водных ресурсов, повторное использование воды, повторная обработка воды посредством модификации промышленных процессов и оптимизации водопользования.	РГII, 13.2.5.3, вставка 13.2, 13.5.1
Северная Америка	- Совершенствование охраны и рационального использования водных ресурсов и защита почвы от эрозии. - Инвестиции в системы охраны и рационального использования водных ресурсов и новые средства водоснабжения и распределения воды. - Изменение Национальной программы США по страхованию от наводнений для уменьшения риска подачи многочисленных связанных с наводнениями исков. - От домашних хозяйств, подавших два связанных с наводнениями иска, требуется, чтобы они были расположены на 2,5 см выше уровня 100-летних наводнений или меняли местоположение. - Промывка водоотливных систем и замена магистральных коллекторных систем с целью обеспечения соответствия критериям более экстремальных 5-летних наводнений. - Направление стока дождевой воды с крыш на газоны, чтобы способствовать ее просачиванию и увеличение накопления дождевой воды в углублениях почвы и аккумуляции дождевой уличного стока.	РГII, 14.2.4 РГII, 14.5.1
Полярные районы	- Успешная стратегия адаптации, которая уже использовалась для нейтрализации последствий осушения водоемов в дельтах рек, предполагает организацию выпуска воды из водоемов для повышения вероятности образования ледяных затоплений и связанного с ним разлива воды. - Регулирование стока для выработки гидроэлектроэнергии, стратегии водосбора и методы обеспечения доступа к питьевой воде. - Стратегии решения проблемы роста/снижения опасностей, связанных с ресурсами пресной воды (например, защитные сооружения для уменьшения риска наводнений или увеличение прилива воды для водных экосистем).	РГII, 15.6.2 РГII, 15.2.2.2
Малые острова	- Установки для опреснения. - Большие накопительные водохранилища и совершенствование методики водосбора. - Охрана грунтовых вод, наращивание возможностей для сбора и накопления дождевых вод, использование солнечного опреснения, рациональное использование ливневых вод и определение на островах районов пополнения грунтовых вод.	РГII, 16.4.1 Вставка 16.5

воздействий изменения климата с помощью технических средств или институциональных изменений. Например, адаптация может быть невозможной там, где реки полностью высохли. [РГП, 3.6.4]

- b) *Технические, политические или социальные:* например, может быть трудно найти приемлемые места для новых водохранилищ или изыскать возможности для водопользователей потреблять меньше воды. [РГП, 3.6.4]
- c) *Экономические:* стратегия адаптации может быть просто слишком дорогостоящей по сравнению с выгодами, которые можно получить посредством ее осуществления.
- d) *Культурные и институциональные:* к ним относятся институциональный контекст, в рамках которого осуществляется водохозяйственная деятельность, низкий уровень приоритетности, придаваемой управлению водными ресурсами, недостаток координации между организациями, напряженность в отношениях между разными уровнями, неэффективное руководство и неопределенность в отношении будущего изменения климата (Ivey et al., 2004; Naess et al., 2005; Crabbe and Robin, 2006); все перечисленное действует в качестве институциональных ограничений адаптации. [РГП, 3.6.4]
- e) *Интеллектуальные и информационные:* например, управляющие водохозяйственной деятельностью могут не понимать того, что существует проблема изменения климата, или придавать ей мало значения по сравнению с другими проблемами. Основной информационный барьер заключается в отсутствии доступа к методологиям, позволяющим последовательно и строго научно решать проблему изменения климата. [РГП, 17.4.2.4]

Изменение климата порождает концептуальную проблему для управляющих водохозяйственной деятельностью, внося неопределенность в будущие гидрологические условия. Также может быть очень трудно выявить исходную тенденцию (Wilby, 2006), а это означает, что решения об адаптации необходимо принимать, вероятно, до того как станет ясно, каким образом гидрологические режимы могут в действительности изменяться. Поэтому при управлении водными ресурсами в условиях изменения климата необходимо принимать подход, основанный на сценариях. (Beuhler, 2003; Simonovic and Li, 2003). Этот подход применяется на практике в таких странах, как СК (Arnell and Delaney, 2006) и Австралия (Dessai et al., 2005). Однако имеются две проблемы. Во-первых, часто существуют большие различия между сценариями в плане оценки воздействия, требующие, чтобы анализы проводились на основе нескольких сценариев. Во-вторых, в некоторых странах управляющие водохозяйственной деятельностью запрашивают информацию о вероятности наступления определенных последствий, с тем чтобы принять решения, учитывающие факторы риска (например, Джоунс и Пейдж (Jones and Page, 2001)). В этой связи разрабатываются методики для построения вероятностных распределений конкретных последствий, требующие, чтобы были сделаны допущения относительно

вероятностных распределений ключевых факторов, обуславливающих неопределенность воздействия (например, Уабли и Хэррис (Wulby and Harris, 2006)). [РГП, 3.6.4]

Второй подход к решению проблемы неопределенности, известный как «адаптивное управление» (Stakhiv, 1998), предполагает расширенное использование средств по управлению водными ресурсами, которые относительно устойчивы к неопределенности. К таким средствам относятся меры по сокращению спроса на воду, которые поощряются в качестве средств, сводящих к минимуму подверженность системы воздействию изменения климата (например, в Калифорнии: Белер (Beuler, 2003)). Аналогичным образом, некоторые гибкие стратегии регулирования паводков, например стратегии, допускающие временный разлив рек и уменьшающие степень подверженности ущербу в результате паводка, являются более устойчивыми к неопределенности, чем традиционные меры противопаводковой защиты (Klijn et al., 2004; Olsen, 2006). [РГП, 3.6.4]

3.3.1 Комплексное использование водных ресурсов

Комплексное использование водных ресурсов (КИВР: см. сноску 17) должно быть инструментом для определения мер по адаптации к изменению климата, но пока этот инструмент находится на начальной стадии его создания. Успешные стратегии комплексного использования водных ресурсов включают, среди прочего, следующее: опрос общественного мнения, реорганизацию процессов планирования, координацию землеустройства и использования водных ресурсов, признание связи между количеством и качеством водных ресурсов, совместное использование поверхностных и грунтовых вод, охрану и восстановление природных систем и учет фактора изменения климата. Кроме того, комплексные стратегии четко предусматривают анализ причин, препятствующих потоку информации. Полностью комплексный подход требуется не всегда, а степень полноты зависит скорее от того, в какой мере этот подход способствует принятию эффективных действий в ответ на конкретные потребности (Moench et al., 2003). В частности, комплексный подход к использованию водных ресурсов может помочь разрешить конфликты между конкурирующими водопользователями. В нескольких местах западной части США управляющие водохозяйственной деятельностью и группы с разными интересами использовали в экспериментальном порядке методы, способствующие принятию решений на основе консенсуса. Эта работа включала инициативы на уровне водосборного бассейна, а также предпринимаемые на уровне штата или спонсируемые на федеральном уровне усилия по привлечению заинтересованных сторон к процессам планирования (например, Министерство внутренних дел США, 2005 г.). Такие инициативы могут облегчить переговоры между группами с конкурирующими интересами по взаимоприемлемому решению проблем с учетом самых разнообразных факторов. В случае крупных водосборных бассейнов, таких, как бассейн реки Колорадо, эти факторы охватывают несколько временных и пространственных масштабов (табл.3.6). [РГП, 3.6.1, вставка 14.2]

Табл. 3.6: Задачи комплексного использования водных ресурсов бассейна реки Колорадо, охватывающие несколько временных и пространственных масштабов (Pulwarty and Melis, 2001) [РГП, табл. 3.4]

Временной масштаб	Задача
Неопределенный	Обеспечение речного стока, необходимого для защиты видов, находящихся под угрозой исчезновения
Долгосрочный	Распределение водных ресурсов внутри бассейна и между штатами на территории бассейна
Десятилетний	Выполнение обязательств по водоснабжению в верхней части бассейна
Годовой	Выполнение обязательств по наполнению озера Пауэлл, чтобы объем воды в нем был равен объему воды в озере Мид
Сезонный	Месяцы пикового нагревания и охлаждения
Суточный/месячный	Работа по регулированию паводков
Часовой	Выработка электроэнергии Управлением энергетики западных территорий
Пространственный масштаб	
Глобальный	Влияние климата, Национальный парк «Большой каньон»
Региональный	Преимущественное распределение прав на водопользование (например, Комиссия по водным ресурсам верховьев реки Колорадо)
Штат	Различные соглашения по маркетингу воды для водохозяйственных окружных управлений на территории и за пределами штата
Муниципалитеты и общины	Графики водоснабжения, водоочистка и коммунально-бытовое водопользование