ГЛАВА 6

СЦЕНАРИИ ПЕРЕМЕН

Учитывая растущие запросы к земле и возникающие проблемы, связанные с деградацией земель и изменением климата, политическим деятелям, принимаюшим стратегические решения, необходима информация о возможных последствиях этих явлений. В данной главе рассматриваются возможные варианты развития событий вплоть до 2050 года с использованием единых социально-экономических направлений на основании отчета «Изучение воздействия изменений в землепользовании и состоянии земель на продовольствие, воду, уменьшение последствий изменения климата и биологическое разнообразие: сценарии Всемирного обзора земельных ресурсов КБОООН».[1]

Хотя различные сценарии указывают на большие отличия в перспективах землепользования, страны Африки к югу от Сахары, Ближний Восток и Северная Африка, Южная Азия и, в меньшей степени, Юго-Восточная Азия остаются регионами, на которые в будущем придется основной рост населения и общего потребления, а также быстро растущая нагрузка на имеющиеся земельные ресурсы. Все сценарии показывают, что наиболее сильные региональные изменения в землепользовании ожидаются в странах Африки к югу от Сахары; однако наиболее плодородные земли уже разработаны, и расширение все в большей мере будет происходить на менее продуктивные землях, что означает снижение урожайности. В таких регионах, как Южная Азия, для расширения сельскохозяйственного производства осталось либо малое количество земли, либо только низкопродуктивные земли.

В результате продолжающихся изменений в землепользовании и ухудшения состояния почв и наземного покрова, а также снижения биологического разнообразия, в будущем ожидаются обширные изменения в состоянии земельных ресурсов. С точки зрения средней относительной численности видов, прогнозируемая потеря биологического разнообразия будет продолжаться на уровне 4 – 12% до 2050 года, в зависимости от сценария, а также продлится в значительной части второй половины XXI века. Изменения наземного покрова и качества почвы влияют на вероятность наводнений и засух. Эти факторы имеют еще большее значение для засушливых районов, где также ожидается рост населения выше среднего. С поправкой

на климатические воздействия, почти на 20% материковой поверхности стран Африки к югу от Сахары отмечается снижение продуктивности, тогда как в большинстве других регионов этот показатель составляет 5 — 10%. Чтобы компенсировать снижение продуктивности, на глобальном уровне возможно дополнительное расширение площади пахотных земель на 5% к 2050 году.

На сегодняшний день глобальное содержание органического углерода в почвах сокращено на 176 Гт по сравнению с естественным, ненарушенным состоянием. Если продолжатся нынешние тенденции, антропогенные выбросы углерода в атмосферу из почвы и растительности на суше за период 2010 – 2050 гг. составят дополнительно 80 Гт, что эквивалентно примерно 8 годам при текущем уровне глобальных выбросов углерода от ископаемого топлива. Снижение прогнозируемых материковых выбросов позволило бы оставить нетронутым больший объем глобального углеродного бюджета в размере 170 — 320 Гт (т. е. количества выбросов CO_2, которые все еще допустимы без риска для цели удержания показателя роста глобальной температуры ниже 2°C). Несмотря на значительный потенциал планеты для хранения углерода в почве, это требует развития сельскохозяйственных систем, сочетающих высокую урожайность с близкими к естественным уровнями органического углерода в почве.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные сценарии изменения землепользования и деградации земель представляют собой потенциальные сюжетные линии, описания и оценки вероятного развития событий — например, возможная будущая ситуация с использованием, востребованностью и состоянием земельных ресурсов. Представленные здесь сценарии являются инструментом для изучения неопределенностей, связанных с возможными будущими путями развития, ориентированными на соответствующие общественные и экологические аспекты.[2] В основе этих сценариев лежит растущий спрос на продукты питания, воду, энергию, жилье и другие связанные с землей товары и услуги, а также последствия для качества и продуктивности земель.

Основная цель таких сценариев заключается в том, чтобы помочь принимающим решения лицам в оценке и формировании будущего, а также в реализации долгосрочного видения всеобщего устойчивого развития. В третьей части данного «Обзора» сценарии понижения нагрузки на земельные ресурсы переведены в общепринятые принципы и пути реагирования. Путем анализа различных воздействий и сил, приводящих к изменениям в землепользовании и деградации земель, эти сценарии также позволяют ряду заинтересованных сторон на разных уровнях проверить, насколько ожидаемый спрос на земельные ресурсы и управление ими помогут в достижении целей устойчивого развития (ЦУР) и их целевых индикаторов, в частности индикатора ЦУР номер 15.3 по достижению нейтрального баланса деградации земель.

Общие пути социально-экономического развития

Для глобального моделирования необходима согласованная методология, основанная на разработке последовательных сюжетных линий, сопровождаемых открытым моделированием.[3] Совсем недавно в качестве основы для анализа сценариев были разработаны совместные социально-экономические пути (СПП), учитывающие многочисленные движущие силы экономического и технологического развития, народонаселения, землепользования и международного сотрудничества.

СПП являются альтернативным вариантом возможных сценариев социального развития, используемые различными исследовательскими сообществами, и включают подробные описания будущих тенденций и количественную информацию по ряду ключевых элементов. Данная глава основана на сценарном анализе,[4] проводимом Нидерландским агентством по оценке состояния окружающей среды (PBL) в сотрудничестве с Вагенингенским университетом, Утрехтским университетом и Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии, а также при поддержке многих экспертов из различных областей науки и организаций. В ней приведены результаты трех исследовательских сценариев (СПП1 – 3) и один вариант сценария СПП2 (сценарий снижения продуктивности СПП2) для оценки величины глобальных изменений в землепользовании и состоянии земель при разных путях общественного развития вплоть до 2050 года.

Таблица 6.1. Допущения, на которых основываются три сценария СПП.

	СПП1 Экологическая рациональность	СПП2 Умеренный сценарий	СПП3 Фрагментация
Глобализация торговли	Высокая	Средняя	Низкая
Потребления мяса	Низкая	Средняя	Высокая
Регулирование изменений в землепользовании	Жесткое	Среднее	Слабое
Повышение урожайности культур	Высокая	Средняя	Низкая
Эффективность системы животноводства	Высокая	Средняя	Низкая

В этих количественных сценариях внедряется набор внутренне непротиворечивых предположений в рамках последовательной сюжетной линии. «Умеренный» сценарий (СПП2) характеризуется продолжением текущих тенденций (в привычном режиме); сценарий «Экологическая рациональность» (СПП1) представляет более справедливый и процветающий мир, стремящийся к устойчивому развитию; а сценарий «Фрагментация» (СПП3) отражает разобщенный мир с низким темпом экономического развития, быстрым ростом населения, в котором состояние окружающей среды не является приоритетом.

Также был создан вариант сценария СПП2, чтобы исследовать влияние изменений в состоянии земель. Сценарий «Снижение продуктивности СПП2» включает, в дополнение к СПП2, влияние снижения продуктивности, ухудшения наземного покрова и/или качества почвы из-за неадекватного управления земельными ресурсами. Он предполагает продолжение (вплоть до 2050 года) снижения чистой первичной продуктивности, подтвержденного методами дистанционного зондирования в 1982 – 2010 гг., с поправкой на климатические воздействия. Чтобы выявить масштабы изменений состояния земель в результате неадекватного управления земельными ресурсами, а не изменения климата, в данные была внесена поправка на последствия изменений климата за тот же период.

Хотя все сценарии представляют потенциальные варианты развития событий, их сюжетные линии сильно отличаются. Это помогает исследовать потенциальный диапазон возможных будущих ситуаций с использованием, востребованностью и состоянием земельных ресурсов. Принимающим решения лицам таким образом предоставляется достаточная информация для оценки того, в каких пределах возможно возникновение изменений и проблем. В Таблице 6.1 приведены основные различия в допущениях, сделанных для каждой из трех сюжетных линий СПП. Эти сценарии разработаны с помощью модели IMAGE,[5] путем применения количественных прогнозов для уровня населения,[6] урбанизации,[7] и экономического развития,[8] а также путем количественного определения параметров модели, отражающих сценарии как описано выше. Результаты сценариев охватывают энергетическую систему, производство продуктов питания, землепользование, выбросы парниковых газов, изменения климата, биологическое разнообразие и изменение состава воды и почвы. При оценке тенденций в сфере биологического разнообразия, гидрологических систем и свойств почвы, важными движущими силами являются как изменения в землепользовании, так и климатические изменения, которые учитываются при моделировании. Однако вследствие высокой неопределенности и экспериментальной природы модели, для режимов землепользования и агроэкономической системы воздействия изменения климата не учитываются.[9] Изменение свойств почвы, биологического разнообразия и гидрологических систем дополнено моделями S-World,[10,11] GLOBIO,[12] PCR GLOB WB[13,14] соответственно.

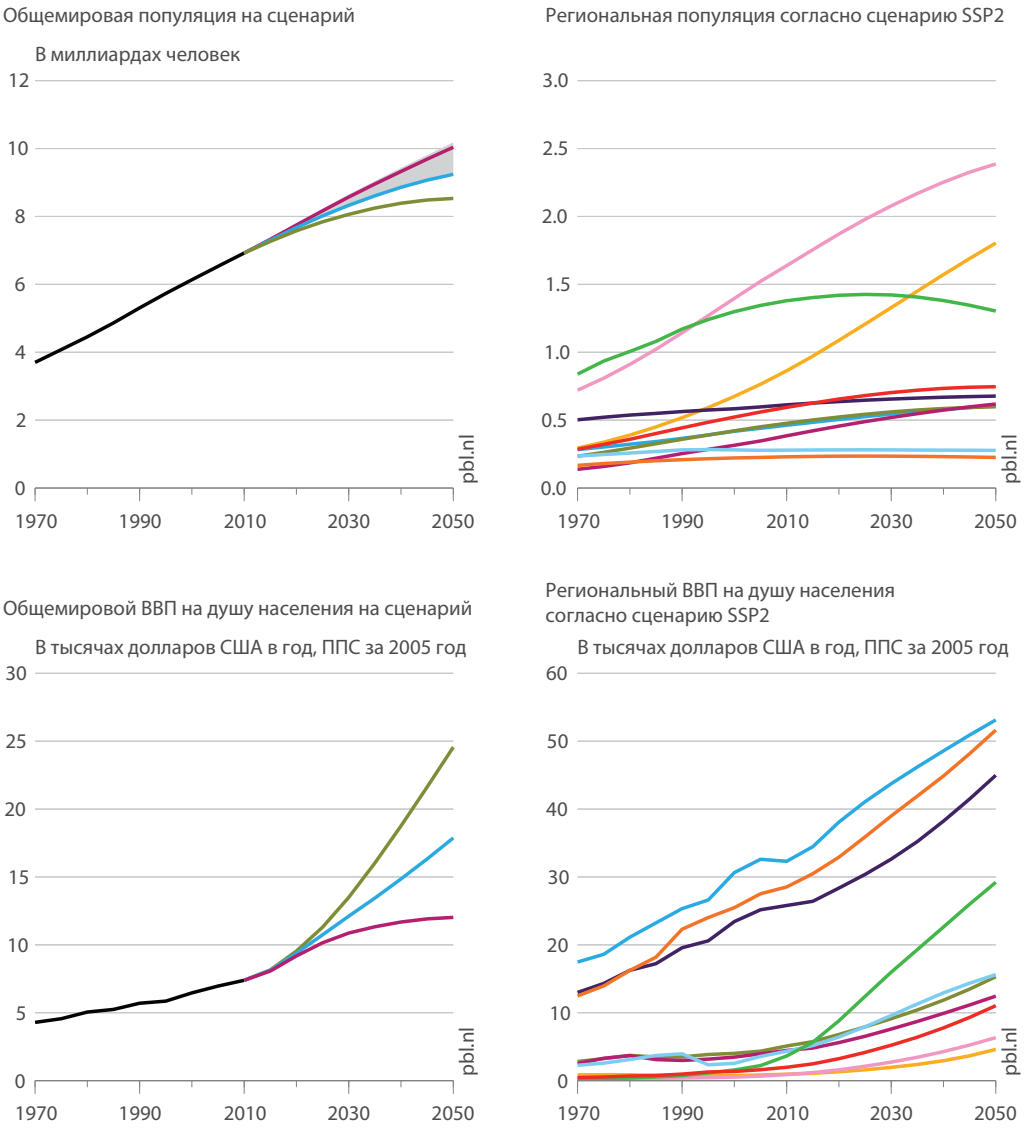
В работе «Совместные социально-экономические пути» описаны вероятные альтернативные тенденции в эволюции общества и природных систем на протяжении XXI века в масштабе мира и крупных мировых регионов. Она состоит из двух элементов: повествовательной сюжетной линии и ряда параметров развития.

Рисунок 6.1. Социально-экономические движущие силы (ВВП и население), рассчитанные в количественном выражении для сценариев СПП (ППС — паритет покупательной способности).

Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

- История
- Сценарий SSP1
- Сценарий SSP2
- Сценарий SSP3
- Прогнозы ООН в отношении популяции (диапазон 95 процентов)
- Северная Америка
- Центральная и Южная Америка
- Ближний Восток и Северная Африка
- Страны Африки к югу от Сахары
- Западная и Центральная Европа
- Россия и Центральная Азия
- Южная Азия
- Регион Китая
- Юго-восточная Азия
- Япония и Океания



Рост численности населения и экономики

Прошлые тенденции роста населения будут наблюдаться до 2050 года во всех трех сценариях, но с разной скоростью (Рисунок 6.1). СПП2 предполагает, что глобальный рост населения начнет выравниваться. В 2050 году население планеты достигает примерно 9 млрд. человек, но продолжит стремительно расти в странах Африки к югу от Сахары, где численность населения удваивается за 40 лет; высокие темпы роста также прогнозируются для Северной Африки, Ближнего Востока и Южной Азии. В других регионах наблюдаются явные признаки стабилизации или даже сокращения численности населения. В СПП1 рост населения происходит медленнее, достигая примерно 8 млрд. к 2050 году, в основном из-за более низких темпов роста в странах Африки к югу от Сахары, Южной и Юго-Восточной Азии. В СПП3 рост населения продолжается нынешними темпами и в 2050 году достигает 10 млрд., главным образом из-за более высоких темпов роста во всех регионах, но особенно в странах Африки к югу от Сахары, а также в Южной и Юго-Восточной Азии.

Показатели экономического роста в СПП2 соответствуют историческими тенденциями, принимаются выше исторических тенденций в СПП1, и ниже исторических тенденций в СПП3, особенно в менее развитых регионах. В результате, тенденции роста населения и экономического развития в СПП3 частично компенсируют одна другую в плане потребности в пище в следствие увеличения численности населения и снижения его достатка. В СПП1, несмотря на более высокие доходы населения, его меньшая численность и относительно низкое внимание к экологическим проблемам удерживают спрос на пищевые продукты питания ниже уровня СПП2.

Рисунок 6.2. Используемые в настоящее время земли (пунктирная линия), на 2050 годи потенциал оставшихся пригодных для сельского хозяйства земель по сценарию СПП2.

Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

Земли, используемые на 2050 год

- Сельхозугодья
- Пастбища

Потенциал оставшихся земель, пригодных для сельского хозяйства

- Очень высокий
- Высокий
- Умеренный
- Низкий

Площадь земель, используемых в 2010 году

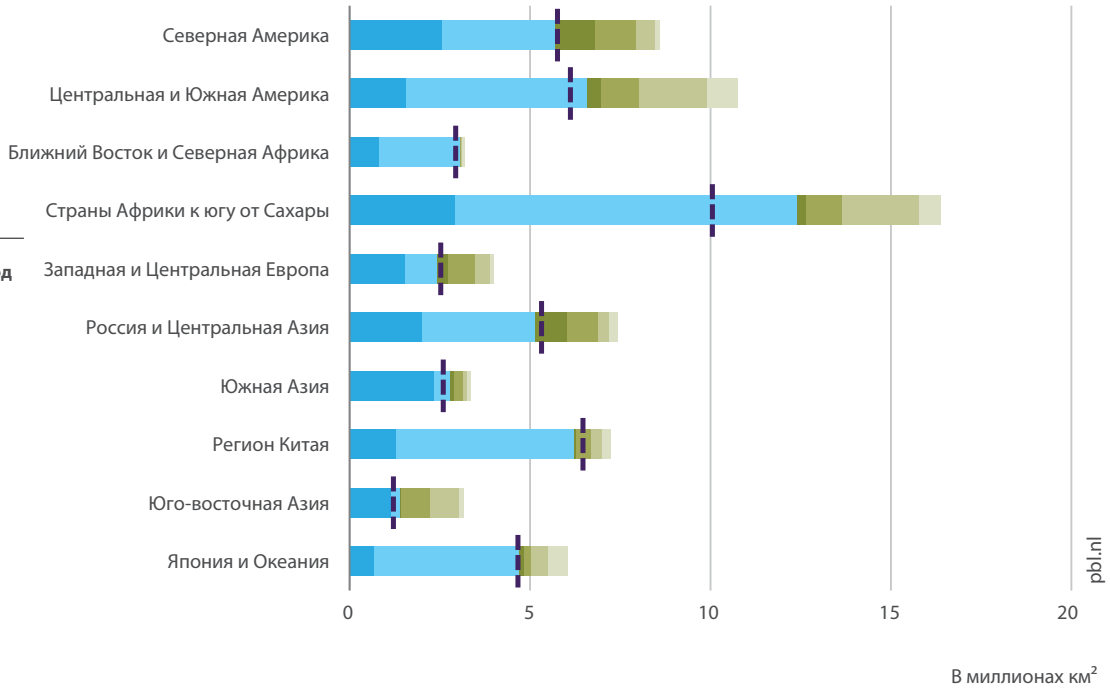


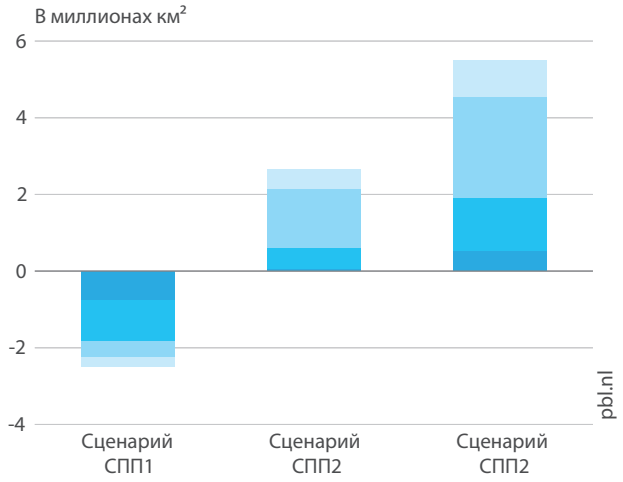
Рисунок 6.3. Потенциал продуктивности земель, недавно освоенных под сельскохозяйственные нужды.

Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

Класс урожайности осваиваемых земель

- Низкий
- Умеренный
- Высокий
- Очень высокий



Результаты анализа сценариев PBL

Во всех трех сценариях в течение ближайших десятилетий сохранится высокий темп увеличения спроса на товары и услуги, связанные с землей.[15] Сюда входят сельскохозяйственные продукты (например, продовольствие и корма), волокно (например, хлопок и древесина для строительства и производства бумаги) и топливо (например, топливная древесина, биомасса, жидкое биотопливо). Кроме потребности в наземной продукции, для строительства городов, деревень и инфраструктуры необходима земля, которая также нужна для сохранения биологического разнообразия, экосистемных услуг, а также для уменьшения последствий изменения климата и адаптации к ним на лесных землях и других природных территориях.

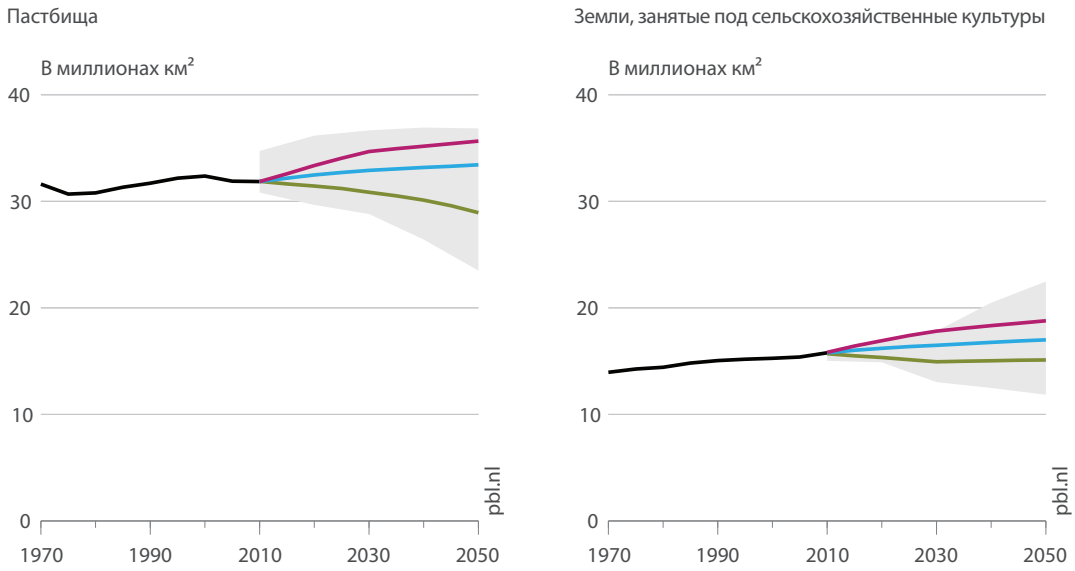
В целом, выводы по сценарию являются обоснованными, так как общие связи между продовольствием, кормами и соответствующими видами землепользования хорошо известны и опираются на широкую эмпирическую базу. Ключевая неопределенность будущей динамики землепользования заключается в изменении спроса на сельскохозяйственную продукцию и тенденциях в отношении урожайности культур и систем производства животноводческой продукции. Все глобальные модели указывают на то, что вековая тенденция переводить

Рисунок 6.4. Глобальные тенденции в землепользовании для СПП (цветные линии) и диапазон в других моделях[16] (серая область) на 2010 — 2050 гг.

Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

- В прошлом
- Сценарий СПП1
- Сценарий СПП2
- Сценарий СПП3
- Диапазон значений при интегрированном моделировании оценки (IAM) для сценариев СПП1, СПП2 и СПП3



лесные земли в фонд сельскохозяйственных угодий будет продолжаться по крайней мере до 2050 года в сценарии «На полпути» СПП2, и тем более в СПП3. Будущие потребности в землепользовании для нужд сельского хозяйства затронут не только леса, но также саванны и лугопастбищные угодья. Как следствие, можно ожидать, что потеря естественной среды обитания и связанные с этим последствия для биологического разнообразия будут существовать и дальше. Следующие разделы отражают представленные далее главы второй части *Обзора*, где более подробно рассмотрены доказательства и политические вопросы для возможного рассмотрения в будущем.

Сельское хозяйство

Площадь сохранившихся в естественном состоянии земель, пригодных для освоения под сельское хозяйство, ограничена; процесс расширения все более захватывает низкопродуктивные земли. Поскольку большая часть земли, потенциально доступной для сельскохозяйственной деятельности, уже используется для земледелия, животноводства, или в качестве городских территорий, при дальнейшем расширении сельскохозяйственных земель приходится осваивать менее продуктивные районы (Рисунок 6.2). Для достижения адекватной урожайности на менее продуктивных землях требуется больше площади и/или затрат. Более того, низкопродуктивные земли часто сложнее в управлении и более подвержены деградации: они могут находиться на склонах, иметь тонкий слой менее плодородной почвы, быть сложнее в обработке или иметь ограничения, связанные с недостатком воды или климатическими факторами. Таким образом, помимо работы в относительно менее благоприятных условиях, фермеры вынуждены вкладывать больше усилий и затрат. В ряде регионов в зоны с низкой продуктивностью чаще всего вынуждены перемещаться мелкие землевладельцы, тогда как более крупные производители контролируют более плодородные земли.

Два из трех сценариев предполагают увеличение использования земель под сельскохозяйственные нужды: ожидается, что примерно 50% (в СПП3) и 80% (в СПП2) от этого роста придутся на земли с низкой или средней продуктивностью (Рисунок 6.3). Напротив, в сценарии СПП1 общая площадь, занятая сельхозугодьями, уменьшится в результате сочетания низкого роста населения, повышенного внимания к устойчивому потреблению и производству (например, снижения уровня потребления мяса и пищевых отходов), а также повышения эффективности систем растениеводства и животноводства. В Европе и России, на территории которых расположена значительная часть наиболее плодородных земель в мире, даже высокопродуктивные земли будут подвержены изменениям в землепользовании или не будут использоваться. С точки зрения общей эффективности землепользования, развитие торговли продуктами земледелия будет способствовать производству продукции в регионах в соответствии с их сильными сторонами. Тем не менее, существует множество других поводов для беспокойства, таких как внутренняя продовольственная самообеспеченность и стоимость транспорта, а также выбросы CO_2 в результате транспортировки на дальние расстояния.

Ожидается, что глобальные изменения в землепользовании по сценарии СПП2 будут продолжаться, с расширением сельхозугодий от 15 млн. км² в 2010 году примерно на 0,9 млн. км² к 2030 году и 1,2 млн. км² к 2050 году, и дополнительно на 1,4 млн. км² для энергетических культур к 2050 году. По прогнозам, к 2050 году площадь пастбищ (включая площадь лугопастбищных угодий для скотоводства) увеличится примерно на 1,6 млн. км² (Рисунок 6.4).

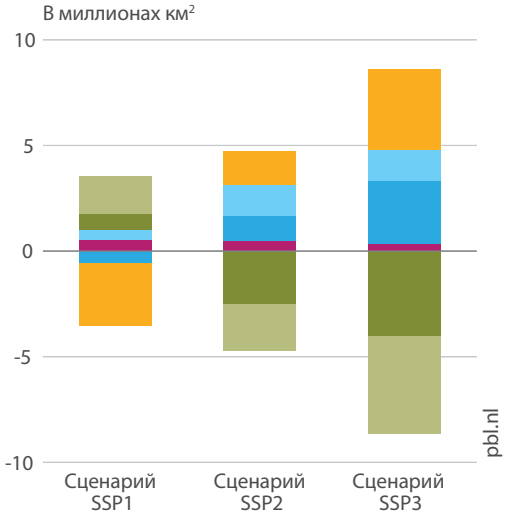
В сценарии СПП3 показано более масштабное расширение сельхозугодий, пастбищ и земель для выращивания биоэнергетических культур, в основном из-за медленного

Рисунок 6.5. Изменение площади территорий землепользования и нетронутых деятельностью человека районов, в глобальном (слева) и региональном (справа) масштабах

Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

- Другие нетронутые деятельностью человека земли
- Лес
- Пастбища
- Энергетические культуры
- Продовольственные и кормовые культуры
- Застроенные территории
- Диапазон значений для сценариев от СПП1 до СПП3



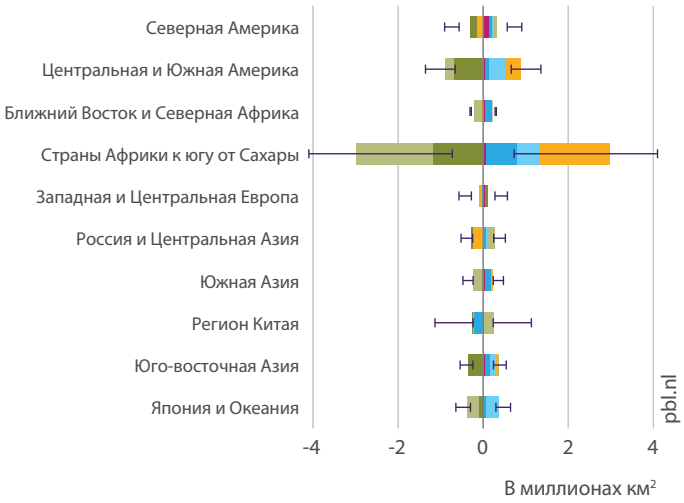


Рисунок 6.6. Изменения в землепользовании за период 2010 — 2050 гг.: зеленым отмечено нетронуты деятельностью человека районы; фиолетовым отмечено расширение сельскохозяйственных земель/застроенных территорий.

Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

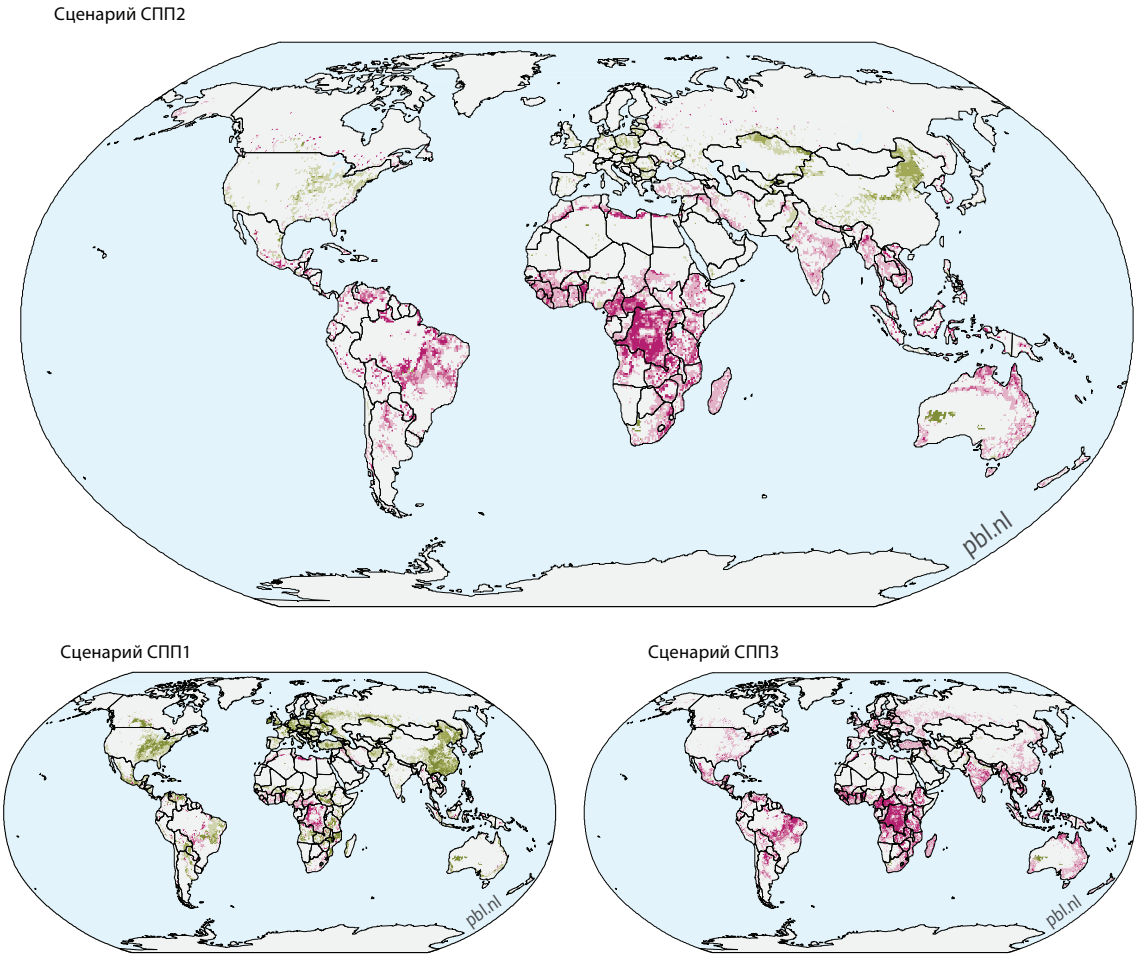
Обезлесение и освоение других нетронутых деятельностью человека земель (процентное изменение на квадрат сетки)

5 30 50 100

Лесовосстановление и выведение сельскохозяйственных земель в категорию природно-заповедного фонда (процентное изменение на квадрат сетки)

5 30 50 100

Изменения небольшие (менее 5%) или отсутствуют



технологического развития по сравнению с СПП2. В сценарии СПП1 прогнозируется чистое уменьшение площади сельскохозяйственных земель в глобальном масштабе из-за небольшого прироста населения, более устойчивого потребления и производства, а также повышения эффективности систем растениеводства и животноводства, что снизит потребности в земле. Самое большое расширение сельскохозяйственных угодий приходится на страны Африки к югу от Сахары по причине высокого роста населения и увеличения спроса на продовольствие и корма, удовлетворение которого невозможно только за счет повышения эффективности. Также в СПП1, в странах Африки к югу от Сахары сельскохозяйственное землепользование расширяется несмотря на чистое уменьшение на глобальном уровне; уровень расширения в СПП3 примерно на 40% выше по сравнению с СПП2 из-за медленного повышения урожайности культур и эффективности системы животноводства (Рисунки 6.5 и 6.6).

Изменения в землепользовании обусловлены продолжающимся увеличением спроса на продовольствие, топливо и волокно. Глобальный спрос поведет к увеличению производства сельскохозяйственной продукции и лесоматериалов вплоть до 2050 года в пределах от 27% до 77%, в зависимости от конкретного сценария и прогнозируемой численности населения и его достатка. Это подтверждается рядом литературных источников.[17] Поскольку рост спроса в развивающихся регионах выравнивается, там ожидается умеренный рост производства, но значительное увеличение ожидается в странах Африки к югу от Сахары (более 150%), Южной и Юго-Восточной Азии, а также Латинской Америке (более 70%), приводя к изменению в сельскохозяйственном землепользовании. Производство и торговля в других регионах также частично покрывают растущий региональный спрос.

В сценарии СПП1 наблюдается гораздо меньшее увеличение спроса (или он остается неизменным) в большинстве регионов. Для СПП3 и СПП 2 зачастую отмечаются схожие показатели изменения в спросе на продовольствие как на глобальном, так и на региональном уровнях, поскольку более высокая численность населения и относительно низкий экономический рост компенсируют друг друга: в СПП3 численность населения выше, что ведет к увеличению спроса, но и к меньшему уровню достатка, в результате чего спрос по сравнению с СПП2 будет ниже. По своему влиянию на изменения в землепользовании, разницу между этими двумя сценариями составляет интенсивность сельского хозяйства (сельскохозяйственные культуры и скотоводство). Производство лесоматериалов в развитых регионах остается на высоком уровне согласно всем сценариям, а в Латинской Америке, Африке и Юго-Восточной Азии отмечается некоторый рост, зачастую в результате увеличения лесопосадок.

В странах, где в настоящее время использование азотных и фосфорных удобрений находится на низком уровне, ожидается быстрый рост спроса на них, что повысит эффективность землепользования за счет риска неблагоприятных экологических последствий. На сегодняшний день, значительная часть рыночной сельскохозяйственной продукции требует при производстве применения искусственных удобрений, так как во многих местах природные питательные вещества почвы не способны поддерживать текущие уровни урожайности. По сценарию СПП2 быстрый рост производства продовольствия приведет к увеличению использования азотных и фосфорных удобрений, особенно в регионах, где их использование в настоящее время невысоко. В прошлом подобные сценарии показывали рост в использовании на 36% для азотных удобрений, а также рост на 44% в использовании фосфорных удобрений в мировом масштабе в период с 2005 по 2050 гг. В странах Африки к югу от Сахары ожидается четырехкратный рост использования фосфорных удобрений.[18]

Все сценарии СПП показывают значительное расширение сельского хозяйства с использованием уязвимых к эрозии тропических почв. Почвы в тропических лесах, как правило, бедны и подвержены атмосферному влиянию: большинство питательных веществ утрачивается с течением времени в результате обильных дождей и высоких температур. Высокая продуктивность естественной растительности поддерживается за счет почти замкнутого цикла, в котором большинство питательных веществ находятся в биомассе и в слое мертвого и разлагающегося вещества в лесной подстилке. Наибольшее расширение сельхозугодий прогнозируется в бассейне Конго в результате значительного увеличения спроса в странах Африки к югу от Сахары, даже при относительно оптимистичном прогнозе роста продуктивности сельского хозяйства в этом регионе примерно на 200% в сценарии СПП2. Без устойчивых и эффективных систем управления почвами, очистка этих земель под сельское хозяйство может привести к быстрому сокращению производства из-за нехватки питательных веществ и воздействия водной эрозии.

В глобальном масштабе, для компенсации продолжающихся потерь продуктивности в конкретных районах, к 2050 году может потребоваться дополнительное расширение сельхозугодий. Первую оценку площади дополнительных сельхозугодий, необходимых для компенсации этих потерь, возможно получить используя локальные отрицательные тенденции в плане чистой первичной продуктивности в качестве показателя, отражающего снижение продуктивности материковых сельхозугодий. Согласно такому сценарию снижения продуктивности СПП2, к 2050 году это приведет к увеличению площади сельхозугодий на 5%, помимо расширения на 8% по сценарию СПП2, в основе которого лежит только рост спроса на продовольствие. Регионы, демонстрирующие наибольшие масштабы расширения в связи с этими допущениями — это Северная Африка, Ближний Восток и в Северная Африка, Россия и Центральная Азия, страны Африки к югу от Сахары, Япония и Океания.

Водные ресурсы

Будущее безопасности водных ресурсов сопряжено со множеством рисков с точки зрения дефицита. Эти риски связаны с устойчивым увеличением спроса на воду, неопределенной возобновляемости истощаемых подземных вод, снижением качества воды и изменениями в режимах выпадения осадков, а также с изменениями в глубине, строении и содержании органического углерода почвы. Ухудшение состояния почвы снижает ее способность удерживать воду. Водоудерживающая способность особенно важна для неорошаемого земледелия в засушливых районах, где осадки могут быть неустойчивыми, а буферная способность почв удерживать воду используется растениями для выживания в течение продолжительных засушливых периодов. Низкая урожайность засушливых систем часто приписывается чрезмерному испарению воды с поверхности почвы. Усиленное мульчирование почвы органическими материалами может — хотя и не во всех случаях — повысить степень впитывания и удержания воды, тем самым увеличивая продуктивность.[19] Если почва способна удерживать больше воды (например, в результате мульчирования), замедленное высвобождение влаги в системы грунтовых вод может оказывать нивелирующее воздействие на расход воды в реках.

Согласно сценарию СПП2, общий глобальный спрос на воду возрастает с 2056 км^3 до 2445 км^3. Наибольший рост спроса на воду отмечается в Юго-Восточной Азии и странах Африки к югу от Сахары, что во многом обусловлено спросом со стороны промышленности и домашних хозяйств. Дефицит водных ресурсов означает их ограниченную доступность, с учетом общего спроса со стороны различных пользователей. Как в настоящее время, так и в будущем, дефицит водных ресурсов наиболее актуален для густонаселенных регионов, таких как Индия, Азия, запад Соединенных Штатов и Испания (Рисунок 6.7). Эти регионы включают в себя крупные засушливые и полузасушливые районы. На Рисунке 6.7 также показаны регионы, в которых дефицит водных ресурсов будет расти. В таких районах как восточная часть центрального побережья Африки, Великие равнины США, регионы, прилегающие к Средиземному морю, а также некоторые районы бассейна Янцзы дефицит водных ресурсов может привести к замедлению экономического роста.

Степень серьезности проблемы дефицита водных ресурсов также зависит от местных хранилищ, выкачивания грунтовых вод из водоносных пластов, или мер, которые принимаются на начальных этапах для предотвращения дефицита водных ресурсов в дальнейшем. Рассмотренные здесь сценарии дают лишь общее представление о рисках, не включая потенциальные меры по их смягчению и адаптации к их последствиям.

По сценарию СПП2, во многих речных бассейнах, где уровень осадков относительно высок из-за климатических изменений, отмечается увеличение стока, которое превышает ожидаемые показатели, основанные только на увеличении количества осадков; изменения растительного покрова, по-видимому, снижают буферную способность экосистем противостоять потокам воды, что ведет к увеличению стока. Эти эффекты еще более выражены в засушливых районах, где во множестве малых бассейнов возможно значительное изменение уровня стока в результате даже незначительной интенсификации землепользования.

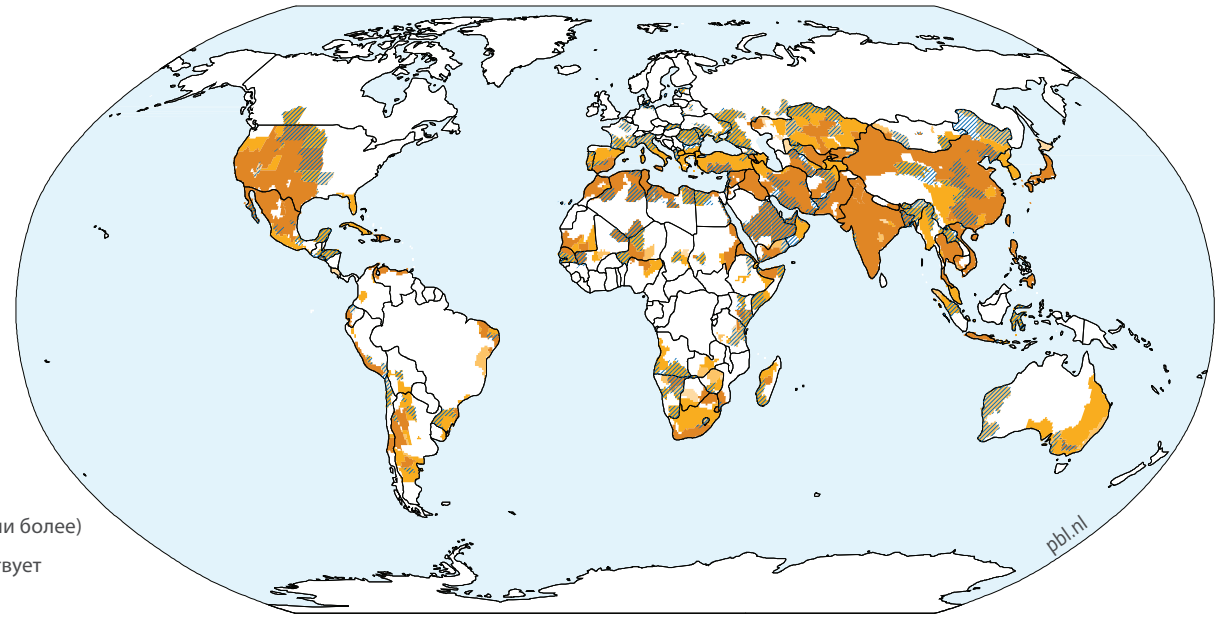


Рисунок 6.7. Глобальные прогнозы динамического дефицита водных ресурсов в период 2010 – 2050 гн. по сценарию СПП2: динамическая карта индекса дефицита водных ресурсов основана на ежемесячной шкале времени и учитывает частоту и постоянство условий дефицита водных ресурсов в течение года. *Источник: Утрехтский университет*

Условные обозначения

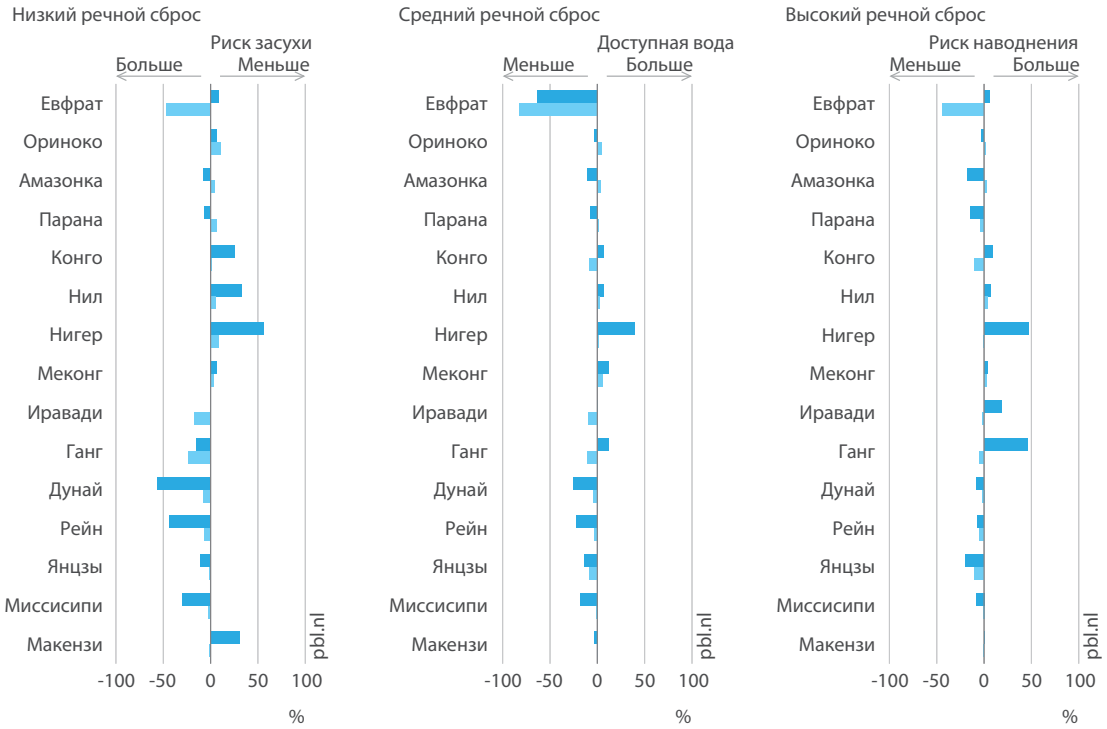
- Низкий (0,1 – 0,2)
- Умеренный (0,2 – 0,4)
- Высокий (0,4 – 0,8)
- Очень высокий (0,8 или более)
- Дефицит воды отсутствует (менее 0,1)
- Прогнозируемое увеличение недостатка воды относительно уровня 2010 г.

Рисунок 6.8. Изменения средних, высоких и низких значений темпа сброса для основных речных бассейнов в период 2010 — 2050 гг. по сценариям СПП2 и СПП2 без учета изменения климата. Следует отметить, что не учитывается изменение свойств почвы, как например в сценарии снижения продуктивности СПП2 и СПП2 без изменения климата (таким образом, показано только влияние от изменения в землепользовании).

Источники: Утрехтский университет; PBL

Условные обозначения

- Сценарий СПП 2
- Сценарий СПП 2 без учета изменения климата



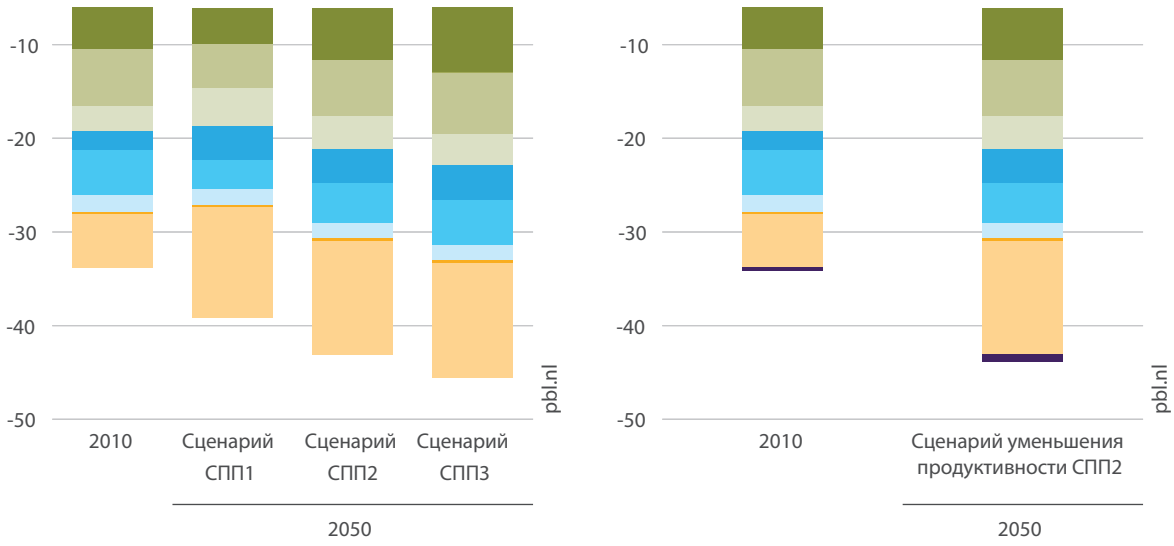
Изменения климата и наземного покрова приводят к изменению уровней стока, что влияет на величину расхода реки. Уровень вод в речных бассейнах может меняться в зависимости от средних значений стока. Но поскольку речной сток в целом демонстрирует высокую естественную изменчивость, максимальные и минимальные показатели объема стоков предоставляют больше информации об опасностях затопления или засухи. На Рисунке 6.8 показаны относительные изменения низких, средних и высоких значений объема стоков для некоторых более крупных речных бассейнов мира в сценарии СПП2, как с учетом климатических изменений, так и без них. Несколько событий могут взаимно усиливать или смягчать воздействие друг друга, и степень такого влияния зависит от ситуации в местном масштабе. Отрицательное изменение низкого показателя стока означает уменьшение его объемов, в результате чего речной бассейн становится более подвержен гидрологическим засухам. Для высоких значений стока ситуация противоположна.

Биологическое разнообразие

В СПП1, 2 и 3, прогнозируемые потери биологического разнообразия, измеряемые средней численностью видов (Mean Species Abundance), возрастает с 34% в 2010 году до 38%, 43% и 46%, соответственно (Рисунок 6.9). В СПП1 скорость потерь сокращается без дальнейшего расширения сельхозугодий, хотя в таком случае возрастает влияние лесного хозяйства. Это типичный пример компромиссов при развитии различных секторов — чтобы компенсировать отсутствие производства лесоматериалов в лесах, вырубленных с целью расширения сельхозугодий, площадь лесных земель должна расшириться в большей мере, чем предусмотрено сценариями СПП2 и СПП3. В результате совокупного эффекта расширения сельхозугодий, в том числе под биоэнергетические культуры, инфраструктуры и земель под населенные пункты, лесные хозяйства, а также от изменения климата, в сценариях СПП2 и СПП3 наблюдается наибольшая деградация биологического разнообразия. Темпы этой деградации в данных сценариях будут аналогичны, или даже выше зафиксированных в XX веке показателей. Во всех сценариях деградация биологического разнообразия продолжается значительно позже 2050 года, в то время как эффект изменения климата ускоряется.

Рисунок 6.9. Глобальная потеря биологического разнообразия относительно естественной ситуации на 2010 г. и на 2050 г. в сценариях СПП1, СПП2 и СПП3 (слева), а также на 2010 и 2050 гг. в сценарии снижения продуктивности СПП2 (справа).

Источник: PBL/IMAGE



Условные обозначения

- Урбанизация
- Сельскохозяйственные культуры
- Биотопливо
- Пастбища
- Лесное хозяйство
- Инфраструктура
- Вторжение
- Фрагментация
- Отложение азота
- Изменение климата
- Снижение продуктивности

В сценарии снижения продуктивности СПП2 к 2050 году отмечается дополнительное снижение биологического разнообразия примерно на одну процентную точку (Рисунок 6.9). В большей мере это связано со снижением продуктивности сельхозугодий, что требует дополнительного расширения их площади для компенсации потери. Меньшая доля приходится на прежние, не используемые более режимы землепользования, а также на неофициальное, экстенсивное землепользование, такое как экстенсивный выпас скота, а также сбор кормовых культур и древесины. Один процентный пункт может восприниматься как относительно небольшое ухудшение, но в абсолютном выражении это значительная величина. Для сравнения, один процентный пункт потерь СЧВ эквивалентен полной деградации биологического разнообразия на участке первозданной природы, площадь которого в 2,4 раза превышает размеры континентальной территории Франции.

Почва, растительность и углерод

Общее историческое антропогенное сокращение почвенного органического углерода (ПОУ), в основном за счет перевода природных экосистем на нужды сельского хозяйства, привело к предполагаемой потере 176 Гт ПОУ, что эквивалентно 8% от общего углеродного пула ПОУ в естественных условиях, или около 2200 Гт.[19,20] Это соответствует оценкам научных источников.[21,22,23] По оценкам, значительная часть этих потерь приходится на Европу, Индийский субконтинент, страны Африки к югу от Сахары, юго-восточную часть Южной Америки, а также на обширные районы Китая (Рисунок 6.10).

Суммарные выбросы от ПОУ в сценарии снижения продуктивности СПП2 оцениваются примерно в 27 Гт углерода за период с 2010 по 2050 гг. (Рисунок 6.11). Из них 16 Гт углерода выделяется в результате будущего освоения естественных земель для сельскохозяйственных нужд, и еще 11 Гт — вследствие продолжающегося сокращения наземного покрова и продуктивности земель по другим причинам. Наибольшая часть будущих потерь ожидается в регионах южного полушария, особенно в странах Африки к югу от Сахары (Рисунок 6.10). За короткий промежуток времени, пока средне- и низкопродуктивные почвы, отличающиеся зачастую низким содержанием углерода, будут осваиваться под сельхозугодья, они могут потерять относительно высокую долю своего (и так небольшого) общего углеродного резервуара.

По некоторым оценкам, продолжающееся осушение торфяных почв и последующие торфяные пожары приведут к выбросу дополнительно около 9 Гт (±2) углерода в период с 2010 по 2050 гг. Эта цифра основана на прогнозах уровней выбросов в Юго-Восточной Азии[24] и экстраполяции текущих показателей выбросов в Европе, включая европейскую часть России[25] Кумулятивные выбросы углерода от истощения растительного покрова к 2050 году оцениваются примерно в 45 Гт; это означает потерю биомассы вследствие расширения площади сельского хозяйства, деградации лесов и управления лесными ресурсами (Рисунок 6.11). Это чистый баланс, в частности, лесонасаждения в северных регионах против продолжающегося обезлесения в южных регионах.[26]

К 2050 году вышеуказанные антропогенные выбросы углерода на суше составят около 80 Гт, что примерно эквивалентно среднегодовому уровню выбросов углерода от ископаемых видов топлива за восемь лет в размере 9,9 Гт в год[27] (Рисунок 6.11). Эти оценки не включают в себя воздействие климатических изменений (температура и осадки) на уровень ПОУ, или влияние обогащения атмосферы двуокисью углерода на запасы углерода в растительности.

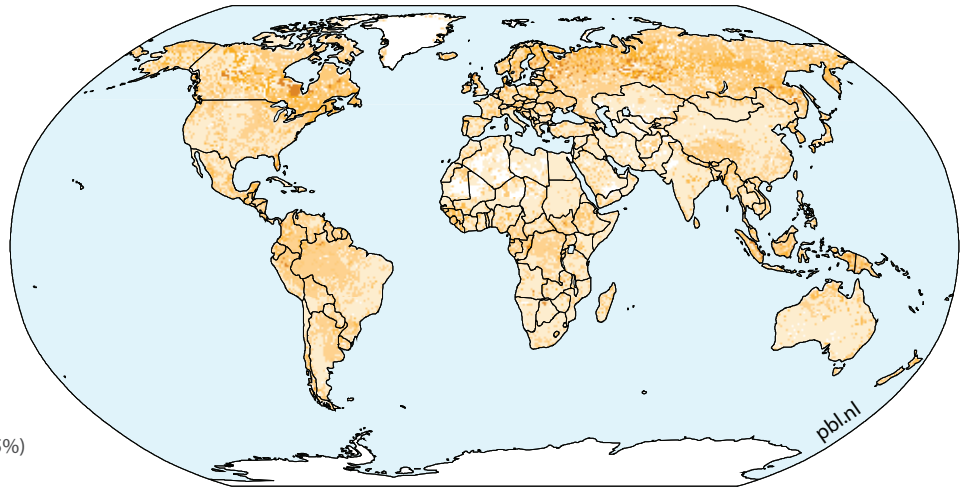
Рисунок 6.10. Текущее содержание ПОУ (сверху); историческое снижение уровня ПОУ относительно общего уровня ПОУ в естественном состоянии (в центре); будущее снижение уровня ПОУ относительно текущих показателей в сценарии снижения продуктивности СПП2 (снизу).

Источник: Стурфогель и др. (Stoorvogel et al.) 2017; Шут и др. (Schut et al.) 2015; PBL

Условные обозначения

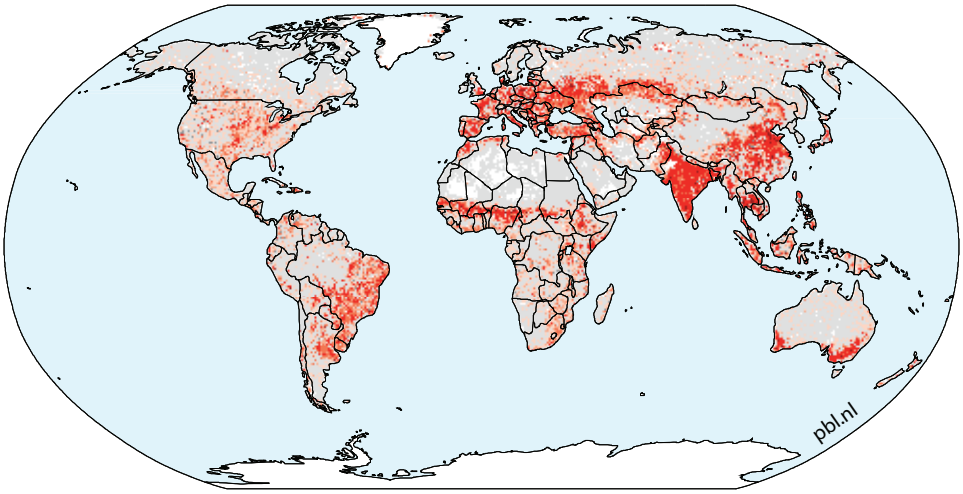
- Низкий (1,5% или меньше)
- Умеренный (1,5 – 3,0%)
- Высокий (3,0 – 5,0%)
- Гумозный (5,0 – 12,0%)
- Органо-минеральный (12,0 – 35%)
- Органический (более 35%)

2010



Изменение по сравнению с естественным положением, 2010 год

- 50 и более
- 30 – 50
- 20 – 30
- 10 – 20
- 2 – 10
- 2% снижение – 2% рост
- Рост более чем на 2%



Изменение согласно сценарию уменьшения продуктивности SSP2, 2010 – 2050 годы

- Данных нет

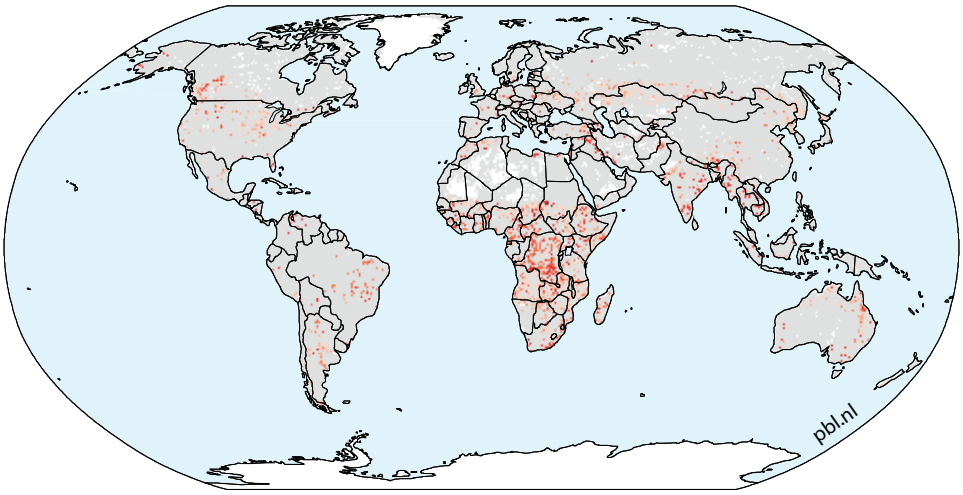
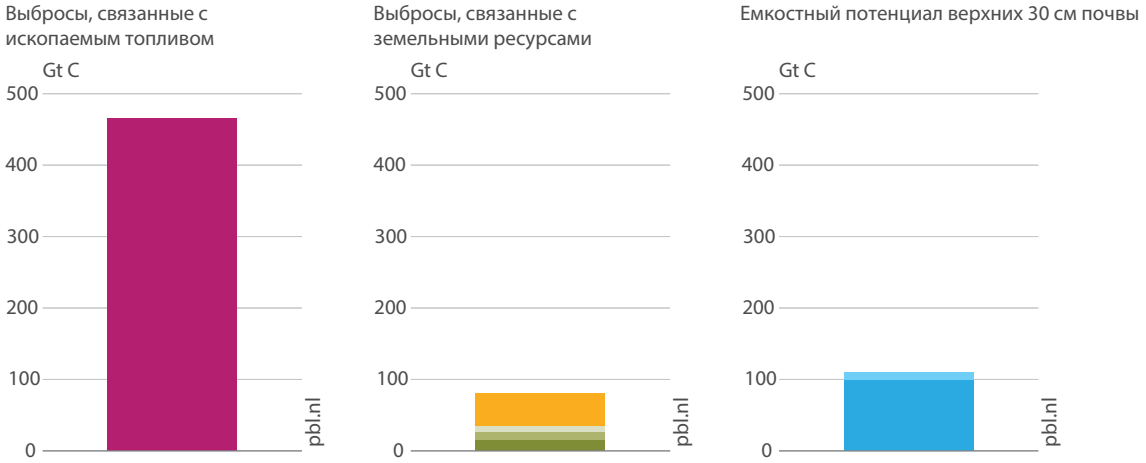


Рисунок 6.11. Суммарные выбросы углерода от ископаемого топлива в отраслях энергетики и промышленности (слева); суммарные выбросы на суше от растительности (изменения в землепользовании) и почвы (в центре); потенциал секвестрации углерода в верхнем слое почвы (<30 см) от сельского хозяйства и нетронутых деятельностью человека земель (справа).

Источник: PBL



Условные обозначения

Всего

Растительность

Органический углерод почвы

Болота (осушение, горение)

Снижение продуктивности

Изменения в землепользовании

Нетронутые деятельностью человека районы

Сельскохозяйственные районы

Поскольку большая часть исторического сокращения уровня ПОУ отмечается на сельскохозяйственных угодьях в верхнем слое почвы толщиной 30 см, то и наибольший потенциал для восстановления приходится на существующие сельскохозяйственные земли. Этот глобальный потенциал значителен, но требует развития сельскохозяйственных систем, сочетающих высокую урожайность с близкими к естественным уровнями ПОУ (Рисунок 6.11).

По сравнению с выбросами от сжигания ископаемых видов топлива, будущие выбросы углерода с материковых земель относительно небольшие (Рисунок 6.11). Тем не менее, с точки зрения уменьшения последствий изменения климата, сокращение будущих выбросов с материковых земель и использование потенциала поглощения углерода сельскохозяйственными землями даст значительные результаты. В сценариях, где рост глобальных температур возможно удержать на уровне ниже 1,5 – 2°C, необходимо чтобы суммарный уровень будущих выбросов CO_2 не превышал 170 – 320 Гт.[28,29,30]

Изменение климата

При умеренном потеплении, влияние изменения климата на сельское хозяйство приведет к вероятному снижению урожайности и доступности пригодных для сельского хозяйства земель в некоторых регионах с одновременным повышением урожайности в других. Это, скорее всего, приведет к изменению структуры торговли и расширению сельскохозяйственных районов, но степень неопределенности размеров влияния климатических изменений на сельскохозяйственное землепользование очень велика.[31] Это влияние значительно различается в зависимости от региона: хотя в некоторых умеренных районах рост температур и увеличение вегетационного периода, вероятно, даст положительный эффект, а в таких регионах как станы Африки к югу от Сахары и Индия ожидается снижение урожайности из-за роста дефицита водных ресурсов и, что важнее, более высоких температур.[32]

Засушливые районы особенно уязвимы — на Рисунке 6.12 показана глобальная карта текущего уровня засушливости и будущих изменений в сценарии СПП2. Повышенная продуктивность за счет обогащения атмосферы CO_2 может компенсировать некоторые неблагоприятные последствия, но до сих пор неясно, в какой мере этот положительный эффект может быть реализован на практике. В глобальном масштабе урожайность существующих сельхозугодий может снизиться на 10 – 15%, тогда как пригодная для сельхозугодий площадь может увеличиться примерно на 10%, в частности в северном полушарии. По сравнению со сценарием отсутствия климатических изменений, это приведет к небольшому снижению глобальной продуктивности к 2050 году, но в региональном масштабе отмечается гораздо более неоднозначная ситуация, которую корректирует торговля.

Помимо влияния на устойчивость земельных ресурсов при производстве продуктов питания, изменение климата также влияет на доступность водных ресурсов и может повлечь за собой более масштабные последствия, такие как конфликты, особенно в засушливых районах с ожидаемым значительным приростом населения и существующим дефицитом водных ресурсов, который уже вызывает трения.[33,34,35,36] Наконец, потепление также может ускорить разложение органического вещества почвы, воздействуя на состояние земель в регионах с теплым климатом, а также дополнительно увеличивая выбросы углерода[37] и миграцию вредителей и болезней.

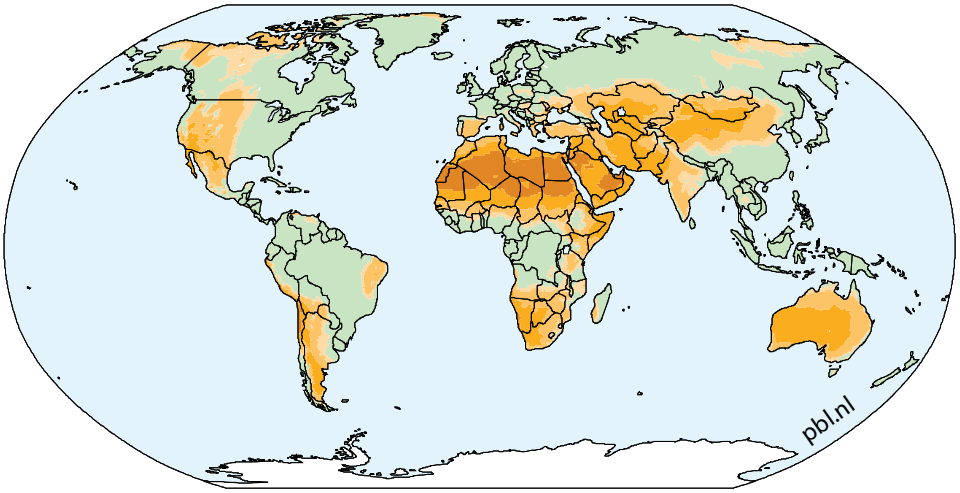
Рисунок 6.12. Индекс аридности за 2010 г. и его изменение в сценарии СПП2
Источник: PBL/IMAGE

Условные обозначения

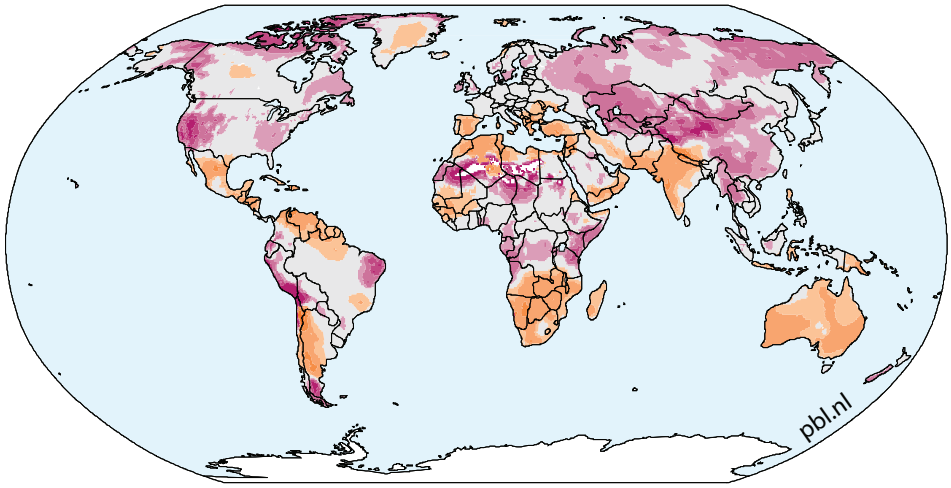
Индекс аридности

- Гипер аридный (< 0,03)
- Аридный (0,03 – 0,2)
- Полуаридный (0,2 – 0,5)
- Сухой субгумидный (0,5 – 0,65)
- Гумидный (> 0,65)

Индекс аридности, 2010 год



Изменение аридности согласно сценарию SSP2, 2010 – 2050 годы



Более аридный

Без изменений

Более гумидный

Урбанизация

Несмотря на относительно небольшие масштабы в сравнении с освоением земель под нужды сельского хозяйства, расширение городских районов и инфраструктуры все в большей степени происходит за счет плодородных сельскохозяйственных земель. Мир становится все более урбанизированным, что прямо или косвенно влияет на землепользование. Исторически сложилось так, что человеческие поселения располагались в самых плодородных районах и на легкодоступных землях. Рост этих поселений все более вытесняет плодородные сельскохозяйственные угодья. В одном из регионов Китая свыше 70% прироста урбанизированных территорий произошло за счет захвата земель, ранее выделенных под сельхозугодья.[38]

Рост городов в основном происходит через пригородные районы, которые постепенно дробят и занимают сельскохозяйственные и природные ландшафты. Сельское хозяйство зачастую вынуждено перемещаться на другие, иногда менее продуктивные территории. Городское население все больше отчуждается от сельских районов, а также процессов производства продовольствия и других продуктов землепользования. Прогнозируемый в сценарии СПП2 рост застроенных территорий составит 0,4 млн. км.^{2} Большая часть этого роста приходится на высокопродуктивные сельскохозяйственные районы (см. Главу 11), в результате чего происходит вынужденное перемещение сельскохозяйственной деятельности в менее продуктивные регионы, где для достижения аналогичных результатов необходимы более значительные площади. Этот вывод в целом согласуется с выводами других источников, хотя в некоторых из них наибольший рост городов прогнозируется в других регионах, таких как Китай.[39]

Рисунок 6.13. Население в засушливых районах по категории засушливых земель (слева) и по регионам (справа) в 2010 г. и 2050 г. в сценарии СПП2.
Источник: PBL/IMAGE

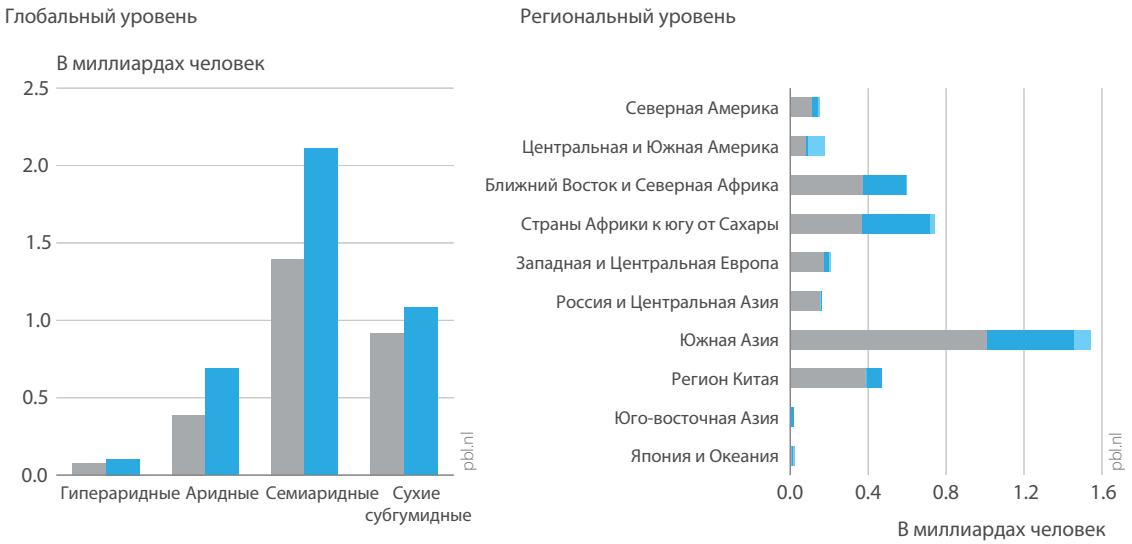
Условные обозначения

Во всем мире

- 2010 г.
- 2050 г.

По регионам

- Население в 2010 г.
- Рост численности населения в существующих засушливых районах, 2010 – 2050 гг.
- Население в новых засушливых районах на 2050 г.



Засушливые районы

В сценарии СПП2, прогнозируемый к 2050 году рост численности населения в засушливых районах составит 43%, что намного выше глобального темпа роста населения, равного примерно 33%. В целом прогнозируется рост численности населения в засушливых районах с 2,7 млрд. в 2010 г. до 4,0 млрд. в 2050 г. (Рисунок 6.13).

Как правило, отсутствие воды является ограничивающим фактором для растительности в засушливых районах. С ростом численности населения в сценарии СПП2 значимость проблемы дефицита водных ресурсов во многих регионах неизбежно возрастет. Наибольший прирост населения прогнозируется в полуаридных и аридных засушливых районах. По прогнозам, в Южной Азии ожидается наибольший прирост населения в засушливых районах — на уровне, превышающем 500 млн. человек, а результаты оценок указывают на удвоение численности населения в засушливых районах странах Африки к югу от Сахары. В Центральной и Южной Америке также ожидается аналогичное удвоение численности населения, хотя и менее значительное в абсолютном выражении. В то время как в странах Африки к югу от Сахары это в основном обусловлено общим приростом населения, в Центральной и Южной Америке основной причиной является расширение площади засушливых земель вследствие изменения климата. Несмотря на то, что показатель влажности в некоторых регионах может несколько изменяться в том или ином направлении, увеличение спроса со стороны растущих групп населения будет влиять на общие проблемы в засушливых районах в большей мере, чем изменением климата. Однако в будущем намного больше людей в засушливых районах будут подвержены негативному влиянию последствий изменения климата, таких как растущая непредсказуемость погодных условий, особенно засухи.

Региональные перспективы

При рассмотрении изменений в землепользовании и функциях экосистем с региональной точки зрения наиболее серьезные проблемы вероятны в странах Африки к югу от Сахары, а также в Южной Азии, Северной Африке и на Ближнем Востоке. Эти регионы характеризуются сочетанием следующих факторов: высокие темпы роста численности населения (особенно в засушливых районах), низкий уровень ВВП на душу населения, высокий уровень хронического недоедания, увеличение недостатка воды, ограниченное потребление белка, относительно низкие показатели самообеспеченности, освоение сельскохозяйственных земель для иных целей, быстрое сокращение оставшихся потенциально доступных сельхозугодий, продолжающаяся низкая урожайность, непрерывная потеря продуктивности, а также значительные потери биологического разнообразия. В то же время отмечается текущая недостаточность экономических и институциональных средств для борьбы с этими изменениями,. Несмотря на возможность улучшения ситуации в будущем, на данный момент возможно возникновение неконтролируемых проблем, а также риска конфликтов и массовой миграции внутри и за пределами региона.

Для Юго-Восточной Азии характерны многие аналогичные проблемы, хотя и выраженные в меньшей степени. Этот регион характеризуется относительно высоким ростом потребности в воде, низкой самообеспеченностью, продолжающейся расширением сельскохозяйственной деятельности, дальнейшим сокращением потенциально доступных сельхозугодий и высокой потерей биологического разнообразия. Для остальных регионов характерно наличие относительно меньшего, но все же широкого спектра проблем, при этом они располагают лучшими экономическими и институциональными ресурсами для преодоления негативных изменений.

© Мехмет Оздемир (Mehmet Özdemir)

ВЫВОДЫ

Данный анализ сценариев показывает, что в ближайшие десятилетия во многих регионах мира можно ожидать значительных изменений в режиме пользования, востребованности и состоянии земель, главным образом в результате сочетания роста численности и обеспеченности населения, что приведет к увеличению спроса на продовольствие, сдвигу в сторону роста потребления мяса и требующих значительных земельных территорий продуктов, повышенному спросу на волокна и энергию, урбанизации, ускорению изменения климата, а также к продолжающемуся локальному сокращению наземного покрова, продуктивности и уровней содержания органического углерода в почве.

Эти движущие силы окажут влияние на высокие и низкие уровни речных сбросов, дефицит водных ресурсов, засушливость, урожайность сельскохозяйственных культур, сельскохозяйственную экспансию, роль земель в качестве источника и поглотителя углерода, а также на биологическое разнообразие. Страны Африки к югу от Сахары, Ближний Восток и Северная Африка, Южная Азия и, в меньшей степени, Юго-Восточная Азия сталкиваются с тревожным сочетанием экологических и социально-экономических проблем, которые в будущем приведут к росту нагрузок на наземные товары и услуги. Вытекающее из этого многопланывое воздействие на безопасность человечества (см. Главу 5) может привести к возникновению неконтролируемых проблем и рисков.

Стратегии реагирования (см. Часть третью) должны помочь снизить нагрузки на землю и обеспечить более справедливый баланс в противостоянии экологических и социально-экономических потребностей. В конце концов, неспособность обеспечить всеобщую продовольственную, водную и энергетическую безопасность для всех при одновременном уменьшении последствий изменения климата и прекращении потерь биологического разнообразия — это общий результат наших индивидуальных решений, принятых главами семей, потребителями, производителями, предпринимателями или политиками. Как и в ситуации с противодействием изменению климата, традиционный подход к решению проблемы оказывается неэффективным по мере роста ее масштабов. В разработке стратегии реагирования необходимо учитывать рост численности населения, уровни потребления, пищевой рацион, недостаток производства всех групп сырьевых товаров, эффективное использование пространства, воды, материалов и энергии, обезлесение, пищевые отходы и потери, связанные с послеуборочной обработкой, а также изменение климата и освоение незатронутых деятельностью человека территорий. Для эффективной реализации такого курса потребуются системы управления земельными ресурсами на локальном, национальном и международном уровнях в сочетании с информированным планированием землепользования и управления земельными ресурсами.

© Хуан Карлос Хуайллапума (Juan Carlos Huayllapuma)/CIFOR

БИБЛИОГРАФИЯ:

1 PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (2017). Exploring the impact of changes in land-use and land condition on food, water, climate change mitigation and biodiversity; Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook. PBL Report. Den Haag.

2 Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., O'Neill, B.C., Ebi, K.L., Riahi, K., et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: Scenario matrix architecture. Climatic Change **122** (3): 373-386.

3 Alcamo, J. and Ribeiro, T. 2001. Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental Issues Report number 24. European Environment Agency, Copenhagen.

4 O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. Climatic Change **122** (3): 387-400.

5 Stehfest, E., van Vuuren, D., Bouwman, L., and Kram, T. 2014. Integrated assessment of global environmental change with IMAGE 3.0: Model description and policy applications. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

6 Lutz, W., Butz, W.P., and Samir, K.E. (eds.). 2014. World population and human capital in the twenty-first century. OUP, Oxford.

7 Jiang, L. and O'Neill, B.C. 2015. Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. Global Environmental Change **42**: 192-199.

8 Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., and Magné, B. 2015. Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. Global Environmental Change **42**: 200-214.

9 O'Neill, B.C., et al. 2014. Op. cit.

10 Stoorvogel, J.J., Bakkenes, M., Temme, A.J., Batjes, N.H., and Brink, B.J.E. ten. 2017a. S World: A global soil map for environmental modelling. Land Degradation and Development **28**: 22-33.

11 Stoorvogel, J.J., Bakkenes, M., Brink, B.J.E ten, and Temme, A.J. 2017b. To what extent did we change our soils? A global comparison of natural and current conditions. Land Degradation and Development. DOI: 10.1002/ldr.2721.

12 www.globio.info

13 Sutanudjaja, E.H., van Beek, L.P., Wada, Y., Wisser, D., de Graaf, I.E., et al. 2014. Development and validation of PCR-GLOBWB 2.0: A 5 arc min resolution global hydrology and water resources model. Geophysical Research Abstracts **16**: EGU20149993.

14 De Graaf, I.E.M., Sutanudjaja, E.H., van Beek, L.P.H., and Bierkens, M.F.P. 2014. A high resolution global scale groundwater model. Hydrology and Earth System Sciences Discussions **11** (5): 5217-5250.

15 Doelman, J.C., Stehfest, E., Tabeau, A., Van Meijl, H., Lassaletta, L., et al. (forthcoming). Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and landbased climate change mitigation. Global Environmental Change.

16 Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., et al. 2017. Land-use futures in the shared socio-economic pathways. Global Environmental Change **42:** 331-345.

17 Ibid.

18 PBL. 2012. Roads from Rio+ 20: Pathways to achieve global sustainability goals by 2050. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, The Netherlands.

19 Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W., and Rockström, J. 2016. Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. Environmental Research Letters **11 (2):** 025002.

20 The numbers are derived by applying Stoorvogel et al. 2017a and Stoorvogel et al. 2017b in the IMAGE model.

21 Houghton, R.A. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land-use and land management 1850–2000. Tellus B **55 (2): 378-390.**

22 Levy, P., Friend, A., White, A., and Cannell, M. 2004. The influence of land-use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems. Climatic Change **67 (2-3): 185-209.**

23 Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M., Ellis, E.C., Ruddiman, W.F., Lemmen, C., and Goldewijk, K.K. 2011. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. The Holocene **21** (5): 775-791.

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

25 Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T.R., and Friborg, T. 2008. Observations and status of peatland greenhouse gas emissions in Europe. In: Dolman, A.J., Valentini, R., and Freibauer (eds.) The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe. Springer, New York, pp. 243-261.

26 PBL. 2017. Op. cit.

27 Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., and Peters, J.A.H.W. 2015. Trends in global CO2 emissions: 2013/2014/2015 Report: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and European Commission Joint Research Centre, The Hague and Ispra, Italy.

28 Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Table 6.3, p. 431.

29 See also UNFCCC Paris agreement art. 2 p.: Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels. Scenarios with a likely (>66%) probability to keep global temperature change below 2°C should limit future cumulative CO2 emissions to 630-1180 GtCO2 (170-320 Gt C).

30 Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., et al. 2016. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. Nature **534** (7609): 631-639.

31 Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlík, P., Ahammad, H., et al. 2014. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (9): 3274-3279.

32 Joint Research Centre of the European Commission. 2017. Challenges of Global Agriculture in a Climate Change Context by 2050; Authors: Van Meijl, H., Lotze-Campen, H., Havlik, P., Stehfest, E., Witzke, P., Pérez-Domínguez, I., Levin-Koopman, J., Fellmann, T., and Tabeau, A.; Editors: Pérez-Domínguez, I. and Fellmann, T.; JRC Technical Reports.

33 Burke, M.B., Miguel, E., Satyanath, S., Dykema, J.A., and Lobell, D.B. 2009. Warming increases the risk of civil war in Africa. Proceedings of the National Academy of Sciences 106 (49): 20670-20674.

34 Gleditsch, N.P. 2012. Whither the weather? Climate change and conflict. Journal of Peace Research **49** (1): 3-9.

35 Kelley, C.P., Mohtadi, S., Cane, M.A., Seager, R., and Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. Proceedings of the National Academy of Sciences 112 (11): 3241-3246.

36 Van Schaik, L. and Dinnissen, R. 2014. Terra Incognita: Land degradation as underestimated threat amplifier. Clingendael, Netherlands Institute of International Relations, The Hague.

37 Crowther, T., Todd-Brown, K., Rowe, C., Wieder, W., Carey, J., et al. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. Nature **540** (7631): 104-108.

38 Hao, P., Sliuzas, R., and Geertman, S. 2011. The development and redevelopment of urban villages in Shenzhen. Habitat International 35 (2): 214-224.

39 d'Amour, C.B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., et al. 2016. Future urban land expansion and implications for global croplands. Proceedings of the National Academy of Sciences 201606036.