РАЗДЕЛ IV
КЛИМАТ, ЭКОЛОГИЯ И НЕСТАБИЛЬНОСТЬ

ЖИЗНЬ В «НЕУСТОЙЧИВОЙ БИОСФЕРЕ» – УГРОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ*

Наталья Олеговна Ковалева
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова;
Казанский (Приволжский) федеральный университет
Екатерина Михайловна Столпникова
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова;
Институт экологии и эволюции имени А. Н. Северцова

Окружающая нас природная среда в своем естественном состоянии является сбалансированной системой, в которой отдельные группы организмов, включая человека, взаимодействуют друг с другом и с окружающей абиотической компонентой без нарушения квазистатического равновесия. Такое состояние системы считается устойчивым. Этапы устойчивого развития сменяют друг друга на протяжении геологической истории ландшафтов в результате природных катастроф. Связи между функционирующими организмами и абиотической средой выполняют малый биологический и большой геологический круговороты элементов и круговорот энергии.

Человек, в ходе своего развития воздействуя на природные системы, меняет их емкость, направления и скорости природных

* ***Для цитирования:*** Ковалева Н. О., Столпникова Е. М. (2023). Жизнь в «неустойчивой биосфере» – угроза экологической дестабилизации. *Системный мониторинг глобальных и региональных рисков* 14: 318–342. DOI: 10.30884/978-5-7057-6259-0_09.
For citation: Kovalyova N., Stolpnikova E. (2023). Life in an “unstable biosphere” – a threat of environmental destabilization. *Sistemnyi Monitoring Globalnyh i Regionalnyh Riskov = Systemic Monitoring of Global and Regional Risks* 14: 318–342. DOI: 10.30884/978-5-7057-6259-0_09.

процессов, циклов вещества и потоков энергии, нарушая это квазиравновесие. Человечество оказалось в условиях выживания в «неустойчивой биосфере». Очевидно, что следующие несколько десятилетий будут иметь решающее значение для формирования и реализации новой глобальной повестки дня, направленной на обеспечение выживания человечества.

Окружающая нас природная среда в своем естественном состоянии является сбалансированной системой (сродни живому организму), в которой отдельные группы организмов, включая человека, взаимодействуют друг с другом и с окружающей абиотической компонентой без нарушения квазистатического равновесия. Такое состояние системы считается устойчивым. Этапы устойчивого развития сменяют друг друга на протяжении геологической истории ландшафтов в результате природных катастроф (вулканической деятельности, наводнений, падений метеоритов и т. п.). Связи между функционирующими организмами и абиотической средой выполняют малый биологический и большой геологический круговороты элементов и круговорот энергии.

Человек, в ходе своего развития воздействуя на природные системы, меняет их емкость, направления и скорости природных процессов, циклов вещества и потоков энергии. Квазиравновесие нарушается за счет изменения параметров состояния, но не сразу. Каждый из параметров, будучи связанным с другими, компенсирует своей емкостью (способность окружающей среды адсорбировать без изменения своего состояния чужеродные вещества, избыточную энергию и т. д.) изменения соседних параметров. Такая буферная реакция продолжается до тех пор, пока емкости всех параметров не будут исчерпаны. Данное свойство системы является теоретической базой концепции допустимых пределов изменений или пределов роста (Розанов 1984: 68; Randers 2012; PBL 2012). Допустимые пределы изменений – минимальные и максимальные критические величины параметров состояния среды, внутри которых она обладает устойчивостью и не разрушается. Во взаимодействии с человеком окружающая среда может проходить в своем развитии ряд критических точек:

1) Нормальное состояние среды – экологически сбалансированное естественное состояние, соответствующее совокупности природных условий и природных величин параметров состояния.

2) Аномальное (нарушенное) состояние – состояние, при котором один или несколько его параметров достигают величин, отклоняющихся от фоновых характеристик данной местности, или нарушаются некоторые свойства среды, например ее емкость. В аномальном состоянии окружающая среда еще не теряет своей системной целостности, но приобретает характеристики экологически несбалансированной системы и может оказывать вредное воздействие на человека либо не удовлетворять его потребности.

3) Кризисное состояние среды – параметры состояния приближаются к допустимым пределам изменений, переход через которые влечет за собой потерю устойчивости системы и ее разрушение.

4) Разрушение среды (кризис) – состояние, при котором среда становится непригодной для обитания человека или использования в качестве ресурса.

Современная оценка экологической ситуации базируется на следующих постулатах:

1) Разбалансирован планетарный круговорот вещества и энергии (биомасса суши сократилась, а биомасса океана увеличилась, техногенное загрязнение биосферы и пр.).

2) Поступательное расширение области жизни сменилось сужением активного функционирования биосферы (добыча полезных ископаемых, войны, строительство).

3) Снижение биоразнообразия (сосудистых растений – на 8–10 %).

4) Ослабление буферной способности и способности к самоочищению.

5) Переход экологических катастроф на континентально-глобальный уровень в результате природно-антропогенного резонанса.

6) Качественное снижение жизнепригодности среды обитания.

7) Изменение системы «человек – земля» на «кочевник – ресурс». Сокращение ресурсов.

8) Урбанизация привела к появлению целых регионов, отличающихся по своим характеристикам от природных зон, в которых они расположены.

9) Полностью исчезли естественные экосистемы Европы, Китая, Индии, Средней Азии, Турции, российской лесостепи.

Различают глобальный кризис и локальные кризисные состояния. Последние в своей совокупности не всегда приводят к развитию глобального кризиса из-за работы компенсационных функций и большого природного разнообразия. Однако в XXI в. процесс уничтожения человечеством естественных природных ландшафтов (экосистем) продолжается с нарастающей скоростью. После запуска в XX в. первых ресурсных спутников масштабы данного процесса удалось зафиксировать впервые в середине 1980-х гг. с разрешением 4 тыс. кв. км (World… 1989: 57) и второй раз – в 1990-х гг. с разрешением 1 тыс. кв. км (Hannah *et al.* 1994: 248) (табл. 1).

Табл. 1. Площади с нарушенными в разной степени естественными экосистемами на континентах Земли

Континенты	**Площадь, кв. км**	**Ненарушенные территории, %**	**Частично нарушенные территории, %**	**Нарушенные территории, %**
Европа	8759321	15,6	19,6	64,9
Азия	53311557	43,5	27,0	29,5
Африка	33985316	48,9	35,8	15,4
Северная Америка	26179907	56,3	18,8	24,9
Южная Америка	20120346	62,5	22,5	15,1
Австралия	8487262	62,3	25,8	12,0
Антарктида	13208983	100,0	0	0
Вся суша	162052691	51,9	24,2	23,9
Вся суша без ледяных, скальных и оголенных поверхностей	134904471	27,0	36,7	36,3

Источник: Hannah *et al.* 1994.

Суммарная величина территории, необходимой для обеспечения жизнедеятельности одного жителя планеты и ассимиляции отходов жизнедеятельности, составляет от 5 до 12 га, из которых от 1 до 2 га представляют собой территории с разрушенными ландшафтами (Современные… 2006: 205). Следовательно, при населении в 8 млрд человек требуется от 60 до 120 млн кв. км освоенных земель и от 300 до 600 млн кв. км естественных экосистем для ассимиляции

отходов. Площадь суши нашей планеты – всего 149 млн кв. км, а площадь всей поверхности – 510 млн кв. км.

Существенная часть искусственных и естественных экосистем деградирует и подвергается дополнительному риску в связи с изменением климата и сокращением биологического разнообразия. В период с 1998 по 2013 г. приблизительно на 20 % покрытых растительностью земель во всем мире наблюдалась устойчивая тенденция к снижению продуктивности, отчетливо выраженная на 20 % сельскохозяйственных угодий, 16 % лесных угодий, 19 % лугопастбищных угодий и 27 % пастбищных угодий. Эти тенденции являются особенно тревожными с учетом возросшего спроса на продукты земледелия и животноводства, предполагающие интенсивное землепользование. Повсеместно наблюдается тенденция смены высокопродуктивных растительных формаций малопродуктивными и малоценными. Полностью уничтожены широколиственные леса, ковыльные степи. Антропогенный бедленд составляет около 10 % поверхности суши, на 10–15 % продуктивность биоценозов существенно снижена, следовательно, снижается и депонирующая способность планеты по отношению к углероду (табл. 2).

Табл. 2. Углерод, сохраняемый биомом

Биом	Гт С
Тропические и субтропические леса	547,8
Тропические и субтропические луга, саванны, кустарники	285,3
Пустыни и сухие кустарники	178,0
Степь, саванны и кустарники	183,7
Леса умеренного пояса	314,9
Бореальные леса	384,2
Тундра	155,4

Источник: Trumper *et al.* 2009.

Кризисное состояние ландшафтной оболочки и ее приближение к критическому порогу (Розанов 1984: 68) вызвано известными причинами: 1) деградацией продуктивности почв в результате их нерационального использования; 2) сведением естественной растительности; 3) загрязнением ландшафтов продуктами хозяйственной деятельности. Экологический след человека, как отмечается в одном

из известных докладов Римскому клубу, продолжает увеличиваться вслед за увеличением индекса человеческого развития и достигает максимальных значений в «богатых» странах (Weizsäcker, Wijkman 2018: 156).

В связи с быстрым ростом населения, развитием промышленности, строительством городов и транспортных магистралей увеличивается отчуждение из сельскохозяйственного оборота плодородных почв, возрастает скорость их антропогенной деградации. Эти обстоятельства заставляют многие страны расширять распашку земель за счет сокращения площади лесов, лугов и пастбищ. Между тем человечество по-прежнему более 98–99 % продуктов питания (по массе), в том числе 87 % белкового питания (Добровольский 1997: 314), получает в результате использования плодородия почв в земледелии и животноводстве. Если в течение первой половины XX в. площадь пашни на душу населения в мире сократилась с 0,23 до 0,12 га, то к 2005 г. она составила всего 0,07 га (рис. 1) (Современные… 2006: 260). Между тем пахотнопригодных почв на Земле совсем немного: 22 % территории земной суши (табл. 1), то есть около 3,2 млрд га (Розанов А. Б., Розанов Б. Г. 1990: 248). Из них под пашней в настоящее время находятся 1,5 млрд га, остающиеся еще не распаханными 1,7 млрд га представлены преимущественно малоплодородными почвами. К тому же, по мнению ряда исследователей, общая площадь земель, которая может использоваться под пашню, не должна превышать 2,7 млрд га. Тогда резерв пахотнопригодных земель сократится до 1,2 млрд га (Ковалев, Ковалева 2020: 3). Этот резерв находится главным образом в странах тропического пояса – под влажнолиственными лесами с красноцветными кислыми и выщелоченными ферраллитными почвами, а также в тропических и субтропических саваннах с солонцеватыми почвами. В России после распашки целинных земель не осталось резерва плодородных легкоосваиваемых почв.

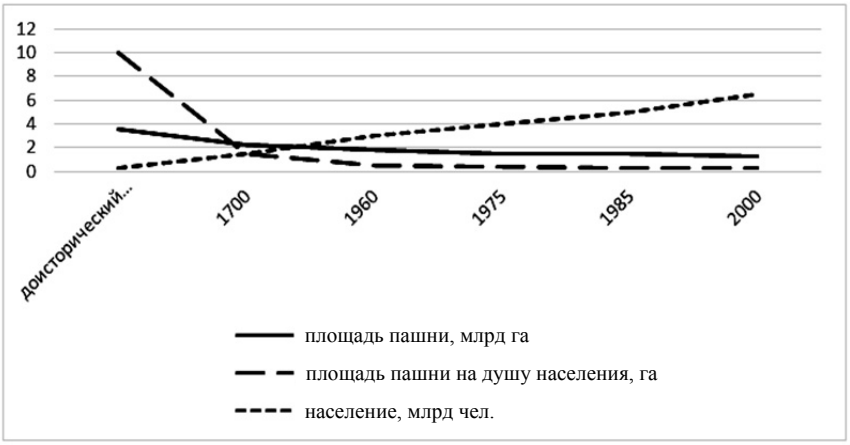

Рис. 1. Динамика площади пашни на душу населения

Источник: По данным: Современные… 2006; Anthropogenic… 2011.

Нидерландским агентством по оценке состояния окружающей среды (PBL) в сотрудничестве с Вагенингенским университетом, Утрехтским университетом и Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии смоделированы возможные сценарии социального развития с учетом величины глобальных изменений в землепользовании и состоянии земель до 2050 г. Сценарий «Посреди пути» (СПП2) характеризуется продолжением текущих тенденций (в привычном режиме); сценарий «Экологическая рациональность» (СПП1) представляет более равный и процветающий мир, стремящийся к устойчивому развитию; а сценарий «Фрагментация» (СПП3) отражает разделенный мир с низким темпом экономического развития, быстрым ростом населения и ограниченной озабоченностью состоянием окружающей среды (Vuuren *et al.* 2014: 375). В соответствии с нидерландской моделью PBL/IMAGE два из трех сценариев предполагают увеличение использования земель для сельскохозяйственных целей: ожидается, что примерно 50 % (в СПП3) и 80 % (в СПП2) от этого роста придутся на земли с низкой или средней продуктивностью. Напротив, в сценарии СПП1 глобальная площадь под сельскохозяйственными землями уменьшится в результате сочетания низкого роста населения, повышенного

внимания к устойчивому потреблению и производству (например, снижению уровня потребления мяса и образования 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. 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 сельскохозяйственного производства.

При этом ежегодно из сельскохозяйственного использования выбывает около 8 млн га за счет отчуждения на другие хозяйственные нужды и около 7 млн – в результате различных процессов деградации почв (табл. 3).

Табл. 3. Степень деградации почв

Тип деградации	Площадь, млн га	%
Смыв и разрушение водной эрозией	1094	56
Развевание и разрушение ветровой эрозией	548	28
Химическая деградация (обеднение элементами питания, засоление, загрязнение, закисление)	239	12
Физическая деградация (переуплотнение, заболачивание, просадки)	83	4
ИТОГО	1964	100
Степень деградации почв		
Слабая	749	38
Умеренная	911	46
Сильная	296	15
Очень сильная	9	1
ВСЕГО	1964	100

Источник: Добровольский 1997.

Таким образом, каждый год человечество теряет около 15 млн га продуктивных угодий. Между тем процесс деградации почв идет с возрастающей (логарифмической) скоростью: за последние 50 лет она увеличилась в 30 раз по сравнению со среднеисторической в период голоцена (Современные… 2006: 242) (рис. 2).

Рис. 2. Скорость потерь продуктивных земель

Источник: По данным: Современные… 2006.

Одной из базовых причин экологического кризиса является недооценка деградационных процессов на уровне почвенного покрова. Ведь с использованием почвенных ресурсов связана не только продовольственная безопасность, но и устойчивость всей ландшафтной оболочки Земли (табл. 4). Для преодоления этой проблемы в МГУ разработана концепция экологических функций почв (Добровольский, Никитин 1990).

Табл. 4. Глобальные функции почв

Литосферные	Гидросферные	Атмосферные	Общебиосферные
Биохимическое преобразование верхних слоев литосферы	Трансформация поверхностных вод в грунтовые	Поглощение и отражение солнечной радиации	Среда обитания, аккумуляция энергии и биофильных веществ
Источник вещества для образования минералов, пород, полезных ископаемых	Участие в формировании речного стока	Регулирование влагооборота атмосферы	Связующее звено биологического и геологического круговорота веществ
Передача аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы	Фактор биопродуктивности водоемов за счет привноса почвенных соединений	Источник твердого вещества и организмов, поступающих в атмосферу	Фактор биологического разнообразия и эволюции организмов

Окончание табл. 4

Литосферные	**Гидросферные**	**Атмосферные**	**Общебиосферные**
Защита литосферы от чрезмерной эрозии и условие ее нормального развития	Сорбционный, защищающий от загрязнения барьер акваторий	Регулирование состава и газового режима атмосферы	Фактор устойчивости функционирования биосферы

Антропогенные экосистемы нацелены на достижение максимальной продуктивности, в то время как «малопродуктивные» с точки зрения урожайности естественные экосистемы настроены на поддержание максимальной устойчивости биосферы, так как, в отличие от агроценозов, способны к саморегуляции за счет поддержания биологического круговорота веществ. Замена естественных экосистем антропогенными приводит к разомкнутости циклов элементов, прежде всего биофильных – углерода, азота, фосфора; изъятию элементов из циклов биологического круговорота, что в свою очередь снижает устойчивость биосферы в целом (рис. 3).

Рис. 3. Вовлечение элементов (сумма N, P, K, Ca, Mg, S) в биологический круговорот и вынос в геологический круговорот, в кг/га в год

Источник: По данным: Розанов 1984.

Внесение минеральных и органических удобрений лишь отчасти может исправить ситуацию, так как из всей суммы вносимого в почву азота сельскохозяйственные растения используют лишь 40–50 %, остаток же вымывается в виде нитратов, загрязняя водоемы, либо улетучивается в атмосферу, загрязняя ее окислами азота. Значительная часть фосфорных удобрений также вымывается в пресные воды, вызывая эутрофикацию водоемов (Быковская и др. 1999: 26). Внесение больших количеств азотных удобрений при недостатке фосфорных приводит к отравлению производимой продукции, превращению твердых сортов пшеницы в мягкие и т. п., замене большого разнообразия видов растений и животных на небольшое количество культурных видов растений и адаптированных к агроценозам животных.

Общее содержание всех химических элементов на планете практически неизменно, однако их циклы подверглись трансформации в результате антропогенной деятельности и синтезу новых соединений и веществ. Биологический круговорот нарушен на половине поверхности суши (48 %): 5 % – антропогенные пустыни; 3 % – бедленд; 2 % – селитебные территории; 13 % – пашни, сады, сеяные луга; 15 % – вторичные низкопродуктивные леса; 10 % – пастбища (FAOSTAT 2003). Если исключить ледники, скалы и пустыни, то это 60 % продуктивной поверхности суши. Геологический круговорот элементов также подвергается деформациям за счет: 1) сельскохозяйственной эрозии почв и возрастания величины твердого стока; 2) ежегодного перемещения около 4 тыс. куб. м грунта; 3) извлечения горючих ископаемых и перевода их в углекислый газ; 4) извлечения руд; 5) перераспределения солей в результате орошения и строительства водохранилищ; 6) использования удобрений и ядохимикатов; 7) загрязнения среды индустриальными, коммунальными и сельскохозяйственными отходами; 8) синтеза не существовавших ранее в природе веществ; 9) рассеивания в техногенезе геохимических аккумуляций.

Однако загрязнения имеют ярко выраженный локальный характер, хотя в отдельных регионах загрязнение воды, почвы, воздуха достигло критических значений. При этом наибольшую долю в со-

ставе загрязнений имеют горные выработки и сельское хозяйство, а не промышленность.

Водный параметр состояния окружающей среды мало изменился за исторический период. Общее количество воды на земном шаре стабильно и поддерживается планетарным круговоротом воды в природе. Масса воды в мировом океане (97 %) стабильна, ее соленость постоянна. Нет существенных изменений и в составе воды ледников Антарктиды и Гренландии (2 % объема всех поверхностных вод). Незначительные колебания ледниковых покровов в горах и в высоких широтах пока не меняют общей картины и не достигают тех величин отступания, которые имели место в первом тысячелетии исторического времени. Но потребление пресных вод суши (1 % от общего объема гидросферы), имеющих жизненно важное значение для человека, изменяется. Намного увеличилось хозяйственное потребление воды (около 13 % речного стока, в том числе 5,6 % безвозвратно). Резко выросло загрязнение воды (16 % загрязнено стоками). Изменилась гидрология суши: исчезают малые реки, крупные реки зарегулированы водохранилищами, наблюдается изменение грунтового стока из-за осушения болот, вырубки лесов. Иссушению пойм и развитию эрозии почв способствует активная вырубка лесов.

Леса покрывают почти треть поверхности суши. Общая площадь лесов в мире составляет 4,06 млрд га, или 31 % от общей площади суши. Это значит, что на душу населения приходится по 0,52 га, однако леса неравномерно распределены между народами и регионами мира. Наибольшая их часть (45 %) находится в тропическом поясе, далее следуют бореальный (27 %), умеренный (16 %) и субтропический (11 %) пояса. Более половины (54 %) лесов мира приходится всего на пять стран: Российскую Федерацию (20 %), Бразилию (12 %), Канаду (9 %), Соединенные Штаты Америки (8 %) и Китай (5 %) (ФАО 2020).

За время существования цивилизации площадь лесов сократилась наполовину, между тем площадь испаряющей поверхности лесного полога близка к площади Мирового океана, а глобальная продукция – 40 ГтС/год (Современные… 2006: 226) (табл. 5). Один гектар леса поглощает в год около 10 т CO_2. Для поглощения еже-

годно выбрасываемых в атмосферу 1 млрд т CO_2 в течение 50 лет необходимы лесонасаждения площадью 1 млн кв. км. В этом случае излишние выбросы, которые не адсорбируются существующей флорой и Мировым океаном, можно было бы сократить на 10 %.

Табл. 5. Прогнозируемое сокращение площади лесов

Зоны обезлесения	Прогнозируемое сокращение (млн га) к 2030 г.
Амазонка	23–48
Чоко-Дарьен	3
Серрадо	11
Атлантический лес Гран-Чако	10
Бассейн р. Конго	12
Прибрежные леса Восточной Африки	12
Борнео	22
Суматра	5
Новая Гвинея	7
Большой Меконг	15–30
Австралия	6
Итого	137–177

Источник: Lanly 1982.

Обезлесение началось в доисторическую эпоху, ускорилось во времена европейской колониальной экспансии и продолжается по сей день. В целом, согласно обзору данных спутниковых и наземных наблюдений, наблюдаемые изменения климата оказывают стимулирующее действие на продуктивность лесов. Увеличение продуктивности северных экосистем связано как непосредственно с ростом температуры воздуха, так и опосредованно с изменением температуры почвы и положением и динамикой кровли многолетнемерзлых пород. Изменение климатических характеристик приводит к изменению ареалов видов в основном двух типов: (1) смещению ареалов вверх в горных местностях и (2) смещению ареалов на север (Бедрицкий 2018: 265, 295). В наиболее умеренных районах площадь лесов в настоящее время расширяется после исторического минимума, однако это более чем компенсируется потерями в тропиках. Множество тропических лесов, которые подвергались

обезлесению несколько десятилетий назад, теперь фактически исчезли (КБО ООН 2017: 197).

С 1990 г. площадь лесов в мире сократилась на 178 млн га, что примерно равно территории Ливии. Темпы чистого сокращения площади лесов в период 1990–2020 гг. заметно снизились в результате уменьшения масштабов обезлесения в одних странах и увеличения площади лесов в других за счет лесоразведения и естественного расширения. Темпы чистого сокращения площади лесов снизились с 7,8 млн га в год в период 1990–2000 гг. до 5,2 млн га в год в период 2000–2010 гг. и 4,7 млн га в год в период 2010–2020 гг. В последнее десятилетие чистое сокращение площади лесов замедлялось в связи с уменьшением темпов расширения лесов. Годовые темпы обезлесения в последний пятилетний период (2015–2020 гг.) оцениваются на уровне 10 млн га, тогда как в период 2010–2015 гг. этот показатель составлял 12 млн га (ФАО 2020).

Несмотря на то что скорость общего обезлесения замедляется, площадь тропических лесов в 2010–2015 гг. с каждым годом сокращалась на 5,5 млн га; другие виды лесов подверглись вырождению или чрезмерному выпасу скота, превращены в кустарниковые земли или плантации. До 70 % мировых лесов подвержены риску дальнейшего вырождения. Ожидается, что чистое сокращение площади лесов продолжится в течение нескольких десятилетий (КБО ООН 2017: 197). Исчезновение лесов оказывает серьезное воздействие на почву, особенно если леса произрастают на торфе, где обезлесение грозит выбросами большого количества углерода, или в засушливых районах, где исчезновение деревьев приводит к быстрой эрозии почв.

Урбанизация. В то время как городское население, по прогнозам, достигнет 5 млрд человек в 2030 г. и 6,3 млрд в 2050 г., ожидается, что площадь городских территорий за тот же период утроится с базового показателя 2000 г., увеличившись на 1,2 млн кв. км. Почти 90 % этого роста, вероятно, придется на Азию и Африку, где, согласно прогнозам, городское население вырастет до 56 % и 64 % соответственно. Согласно текущим оценкам, городское население Африки увеличится на более чем 300 млн человек в 2000–2030 гг., превысив число сельских жителей более чем в два раза. Рост горо-

дов ведет к необратимой потере пахотных земель. В глобальном масштабе на сегодняшний день урбанизировано около 2–3 % площади поверхности суши; к 2050 г. ожидается рост этого показателя до 4–5 % (КБО ООН 2017: 227). В то же время в ряде стран ожидается троекратный рост районов городской застройки к 2030 г. Предполагаемые потери от урбанизации в период между 2000 и 2030 гг. составят от 1,6 до 3,3 млн га высокоплодородных сельскохозяйственных угодий в год.

Увеличение площади городских угодий, вероятно, приведет к значительному сокращению биологического разнообразия. Например, широкая урбанизация в восточной части Афромонтаны, гвинейских лесах Западной Африки и Западных Гатах, а также в центрах биоразнообразия Шри-Ланки к 2030 г. приведет к расширению городских территорий примерно на 1900 %, 920 % и 900 % соответственно (более чем в 2000 раз), обернувшись серьезным сокращением биоразнообразия. В уже уменьшенных и сильно фрагментированных местах обитания, таких как средиземноморские и южноамериканские атлантические леса, относительно небольшое уменьшение мест обитания может привести к непропорциональному росту темпов вымирания видов.

Перспективы дальнейшего роста

Ответные меры на эти вызовы являются довольно простыми: применять менее загрязняющие источники энергии (например, биогазовые генераторы, фотоэлектрические двигатели [Agri-Photovoltaik n. d.], более эффективные энергосберегающие решения), а также методы использования и управления земельными ресурсами, которые отдают приоритет сохранению углерода в почве. Например, повышению содержания в почве гумуса и укреплению ее здоровья может способствовать использование разновидностей глубокорневых растений, покровных культур, применение севооборотов и, в некоторых случаях, обработка почвы без вспашки. Уменьшению водной эрозии почв способствуют террасирование склонов, строительство русловых отстойников, организация лесополос, агротехнические мероприятия, осушение почв, вертикальная планировка рельефа. Меры по уменьшению ветровой эрозии включают в себя использо-

вание засухоустойчивых видов, ротацию пастбищ и ветрозащитную посадку растений в сочетании с методами беспахотной обработки и обработки почв с сохранением стерни. Приостановка деградации почв и накопление органического вещества также помогают влиять на изменение климата путем почвенной секвестрации углерода и в то же время повышают устойчивость сельскохозяйственных систем (КБО ООН 2017: 151). Повышенное содержание органического углерода в почве приводит к увеличению урожайности, особенно в районах с низким и переменным количеством атмосферных осадков. Для предотвращения засоления почв необходимо использовать для полива низкоминерализованную поливную воду, орошение выполнять на фоне трубчатого или открытого дренажа, бороться с переуплотнением почв.

В течение жизни одного поколения Южная Корея, например, заняла место среди самых богатых стран мира. Одной из причин этого успеха стали массовые усилия по восстановлению окружающей среды. Во время Второй мировой войны и последовавшей гражданской войны страна пережила разрушительную деградацию окружающей среды: большинство лесов было уничтожено в результате конфликта и сбора топливной древесины. С тех пор правительство Кореи осуществляет одну из самых впечатляющих в истории программ восстановления лесов, насаждая леса на площади в 2,8 млн га и увеличив прирост леса в 12 раз; таким образом, большая часть страны теперь покрыта лесами. В Корее создана система охраняемых районов, занимающая площадь в 16 000 кв. км, которая чрезвычайно популярна главным образом среди урбанизированного общества; в 2007 г. только национальные парки посетили 38 млн человек, 99 % из которых были внутренними туристами.

В некоторых частях мира органическое сельское хозяйство перестает быть прерогативой отдельных полей и становится главной или единственной моделью производства. Так, в январе 2016 г. Сикким стал первым штатом Индии, полностью перешедшим на органические материалы. Потребовалось 10 лет, чтобы перевести 75 тыс. гектаров сельскохозяйственных угодий в штате Сикким в статус сертифицированных органических ферм (Chamling 2010). Теперь этот штат производит 800 тыс. тонн продукции, что состав-

ляет почти 65 % от общего объема органической продукции в Индии, насчитывающего 1,24 млн т. Одновременно с защитой экосистемных услуг эта модель демонстрирует, что переход на органическое производство не наносит ущерба продуктивности или развитию. В 2011 г. горные народы Бутана поставили перед собой амбициозную цель: перевести всю сельскохозяйственную систему страны на органическое производство к 2020 г. В случае успеха Бутан стал бы первой в мире страной с полностью органическим производством продуктов питания. В этой стране проживает 700 000 человек, большинство из которых является фермерами, поэтому единственная проблема заключается в том, чтобы продемонстрировать, что выгоды от такой системы перевешивают издержки и использование исключительно натуральных удобрений не влияет на урожайность. Органическая стратегия Бутана состоит в том, чтобы продвигаться от этапа к этапу, от региона к региону, от продукта к продукту, демонстрируя, что такие нововведения необходимы для поиска путей естественного искоренения болезней и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур (Neuhoff *et al.* 2014: 210).

Все существующие прогнозные сценарии на период до 2050 г. показывают, что наиболее сильные региональные изменения в землепользовании ожидаются в странах Африки к югу от Сахары; однако лучшие земли уже используются, и расширение все в большей мере будет приходиться на менее продуктивные земли, приводя к снижению урожайности (на 20 %) (Rasmussen *et al.* 2016: 675; Herrmann *et al.* 2014).

С точки зрения средней относительной численности видов прогнозируемая потеря биологического разнообразия будет продолжаться на уровне 4–12 % до 2050 г., а также продлится в значительной части второй половины XXI в. Изменения растительного покрова и качества почвы влияют на вероятность наводнений и засух, особенно в засушливых районах, где также ожидается более чем средний рост населения.

На сегодняшний день глобальное содержание органического углерода в почвах было сокращено на 176 Гт по сравнению с естественным, ненарушенным состоянием. Потери органического углерода гумусосферы вследствие дегумификации составили 313×10^{15} г

за последние 10 000 лет, в том числе 90×10^{15} за последние 300 лет и 38×10^{15} за последние 50 лет (760 млн т в год). С 1883 г. содержание гумуса в черноземах России уменьшилось с 10–12 % до 4–7 % (Ковалев, Ковалева 2020: 5). А ежегодное поступление CO_2 из почв за счет «дыхания» в атмосферу – 60×10^{15} г С, то есть суммарные потери углерода почвами в два раза больше его поступления в атмосферу за счет антропогенной деятельности. Следовательно, почвенный покров, на котором происходит восстановление растительности, является областью стока углерода, а почвы осваиваемых территорий – источниками диоксида углерода. 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 восьми годам при текущем уровне глобальных выбросов углерода от ископаемого топлива. Снижение этих прогнозируемых материковых выбросов позволило бы оставить нетронутым больший объем глобального углеродного бюджета в размере 170–320 Гт (то есть количества выбросов CO_2, которые все еще допустимы, без угрозы риска для цели удержания показателя роста глобальной температуры ниже 2 °C [Akaev, Davydova 2021: 2558]). Несмотря на значительный потенциал планеты для хранения углерода в почвах, это требует развития сельскохозяйственных систем, сочетающих высокую урожайность с близкими к естественным уровнями органического углерода в почве.

В 2007 г. инициатива создания «Великой зеленой стены» в Сахаре и Сахеле была принята Африканским союзом. Эта инициатива представляет собой согласованную региональную стратегию (African… 2010), направленную на создание мозаики продуктивных озелененных ландшафтов в Северной Африке, Сахеле и на Африканском роге. «Великая зеленая стена», которая обеспечит поддержку для 232 млн людей, будет проходить через засушливые и полузасушливые зоны к северу и югу от Сахары и представлять собой пояс шириной 15 км и длиной 7775 км, тянущийся от Дакара до Джибути; площадь основной части этого пояса составит 780 млн гектаров. Ежегодно придется восстанавливать около 10 млн гектаров (UNCCD 2016). Цель создания «зеленой стены» состоит в устране-

нии последствий деградации земельных ресурсов к 2025 г. и трансформации земель на региональном уровне к 2050 г. Многие изменения уже реализованы (Global Mechanism n. d.).

В Эфиопии восстановлено 15 млн гектаров деградированных земель, улучшено состояние водосборных бассейнов, усилена безопасность землевладения; применяются стимулы, способствующие привлечению общин.

В Буркина-Фасо, Мали и Нигере около 120 общин участвуют в возобновлении озеленения; высажено более 2 млн семян и саженцев 50 аборигенных видов.

В Нигерии восстановлено 5 млн га, включая 319 км ветрозащитных насаждений; создано 20 тыс. рабочих мест. В северной части Нигерии 5000 фермеров прошли подготовку по восстановлению земель; более 500 молодых людей получили работу лесных сторожей. В Сенегале высажено 11,4 млн деревьев; построено 1500 км противопожарных ограждений; на 10 тыс. га земель применяются технологии содействия естественному возобновлению растительности; в целом восстановлено 24 600 га деградированных земель. В Судане 2000 га восстановленных земель.

Пустыни занимают почти пятую часть всей территории Китая, при этом большей части территории, особенно сухим районам западной части Китая, которая также относится к числу беднейших регионов, угрожает риск опустынивания. Жизнеобеспечение 400 млн человек находится под угрозой или страдает от деградации земель и расширяющихся пустынь. Быстрая индустриализация и урбанизация поглотила сельскохозяйственные угодья, что усугубляет и без того серьезную проблему. Добыча древесины сделала земли уязвимыми для вторжения песков. С 1978 г. «Великая зеленая стена» из деревьев, кустарников и трав воздвигалась в пустыне Кубуки для защиты северных городов; она обошлась в 6,3 млн долларов США и замедлила опустынивание, сократив его примерно с 3400 км^2 в год в 1990-х гг. до 2000 км^2 в год с 2001 г. Согласно результатам правительственного исследования, к 2010 г. было восстановлено 12 452 км^2 подверженных опустыниванию земель, хотя в некоторых районах опустынивание усилилось (State Forestry Administration 2011).

Однако действительность гораздо сложнее любой модели. Почвенный покров поглощает избыточное количество углекислого газа, и на этом его свойстве основана работа углеродных полигонов и карбоновых ферм. При этом исходное количество углерода в растительности и гумусе примерно одинаково, однако растения поглощают 64–83 % (101–115 ГтС) всего поглощенного CO_2, гумус – 6–7 % (7–10 Гт С), а подстилка – 10 % (12–14 ГтС). Но запасы углерода гумуса растут тем интенсивнее, чем сильнее зависимость годичной продукции от усвояемого азота.

Все глобальные модели указывают на то, что вековая тенденция переводить лесные земли в фонд сельскохозяйственных угодий будет продолжаться по крайней мере до 2050 г. Будущие потребности в землепользовании с целью 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 усугубляться.

Итак, человечество оказалось в условиях выживания в «неустойчивой биосфере». Состояние бифуркации может продлиться несколько столетий. Умеренный оптимизм базируется на информации о том, что редуцирующее воздействие современной цивилизации на биологический круговорот не достигло уровня периода вюрма – максимума. Следовательно, упругость глобальной системы больше, чем мы думаем.

Постепенное изменение социальной структуры населения и менталитета под воздействием растущей экономики уже начало приводить к снижению роста народонаселения и ограничению потребления ресурсов. Широкое осуществление мероприятий экополитики в целом ряде развитых стран, сохранение достаточно обширных пока еще не освоенных территорий как основы поддержания биоразнообразия в пределах севера Евразии и Америки, способность биосферы геологически длительно функционировать в условиях нарушений гомеостаза и инерционность многих планетарных систем и процессов (Мирового океана, например) – все это позволяет прогнозировать возможность длительного устойчивого развития, но не одновременное в разных государствах. Для выработки науч-

но обоснованной стратегии устойчивого развития необходимо признать следующие приоритеты:

– эколого-экономическая оптимизация природно-антропогенных и антропогенных систем путем экологизации технологий и производства.

Так, в 2014 г. Индия стала первой в мире страной, принявшей национальную политику в области агролесничества, которая стимулирует методы одновременного выращивания деревьев, сельскохозяйственных культур и домашнего скота на одном земельном участке. Фермеры на протяжении нескольких поколений выращивали деревья на своих участках, чтобы поддерживать состояние почвы, а также обеспечивать поставки продовольствия, древесины и топлива.

Интенсивное разведение коз привело к деградации более 1,5 млн га субтропических кустарниковых зарослей в Восточно-Капской провинции Южной Африки, результатом чего стало возникновение на месте этих территорий открытых пустынеподобных ландшафтов с температурой поверхности, достигающей 70 °С. Сокращение или потеря практически всех экосистемных услуг, обеспечиваемых этими кустарниковыми зарослями, привели к уменьшению доходов фермеров и упадку местной экономики. В начале 1970-х гг. владелец животноводческой фермы, проживающий в окрестностях Эйтенхахе, решил попытаться восстановить поверхность склона, снова превратив ее в густые кустарниковые заросли, чтобы увеличить перехват дождевой воды растениями и предотвратить затопление своего амбара у основания склона. Вместе с другими фермерами он приступил к восстановлению кустарникового покрытия, используя черенки местного суккулентного дерева – слоновьего кустарника (Portulacaria afra); это привело к повышению качества почвы и увеличению запасов углерода, а кормовая продуктивность этой территории для животных и доходы возросли в 10 раз. Основываясь на результатах этих передовых фермеров и скотоводов, правительство Южной Африки решило инвестировать средства в крупномасштабное восстановление деградированных кустарниковых зарослей. Была учреждена Программа восстановления субтропических кустарниковых зарослей (Subtropical Thicket Restoration Programme),

в рамках которой за период с 2004 по 2016 г. было потрачено около 8 млн долларов США. На сегодняшний день саженцами слоновьего кустарника покрыто более 10 000 гектаров природных заповедников, частных земель и территорий Национального парка слонов Аддо (UNCC 2022);

– многофункциональный подход к земельным ресурсам, планирование землепользования с учетом нейтрального баланса деградации земель (нейтрализация деградации земель – это новый подход к контролю деградации земель, призванный поощрять действия, направленные на предотвращение или сокращение деградации, а также на восстановление деградированных земель, с тем чтобы достичь цели нулевого баланса потерь здоровых, продуктивных земель на национальном уровне);

– охрана природных систем и биоразнообразия путем административно-правового и международно-правового воздействия;

– формирование нового подхода к территориальному планированию для сведения к минимуму последствий неконтролируемого разрастания городов и развития инфраструктуры;

– недопущение суммарных потерь: создание стимулов для экологически рационального потребления природных ресурсов и добычи природного сырья;

– формирование устойчивости сообществ и экосистем к внешним воздействиям, повышение адаптационной способности регионов благодаря сочетанию природоохранных мер, устойчивого управления и восстановления земельных ресурсов.

– экологическое образование и просвещение населения с целью создания нового мировоззрения («третьего сознания» после аграрной и индустриально-технологической волн).

Очевидно, что следующие несколько десятилетий будут иметь решающее значение для формирования и реализации новой глобальной повестки дня, направленной на обеспечение выживания человечества в условиях «полного мира».

Библиография

Бедрицкий А. И. (ред.). 2018. *Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального приро-*

допользования (сельское и лесное хозяйство). Национальный доклад. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, ГЕОС.

Быковская Т. К., Ковалева Н. О., Парамонова Т. А. 1999. Экологические проблемы сельскохозяйственного производства и состояние почв России. *Аграрная наука* 7: 25–26.

Добровольский Г. В. 1997. Тихий кризис планеты. *Вестник Российской Академии Наук* 67(4): 313–320.

Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. 1990. *Функции почв в биосфере и экосистемах: экологическое значение почв.* М.: Наука.

КБО ООН. 2017. *Земельные ресурсы: всемирный обзор*. Бонн: UN.

Ковалев И. В., Ковалева Н. О. 2020. Экологические функции почв и вызовы современности. *Экологический вестник Северного Кавказа* 16(2): 4–17.

Розанов Б. Г. 1984. *Основы учения об окружающей среде*: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ.

Розанов А. Б., Розанов Б. Г. 1990. Экологические последствия антропогенных изменений почв. *Итоги науки и техники. Почвоведение и агрохимия* 7: 1–156.

Современные глобальные изменения природной среды: в 2 т. Т. 2. **2006.** М.: Научный мир.

ФАО. 2020. *Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года. Основные выводы*. Рим: Б. и. DOI: 10.4060/ca8753ru.

African Union and Panafrican Agency of the Great Green Wall. **2010.** *Harmonised Regional Strategy for Implementation of the "Great Green Wall Initiative of the Sahara and the Sahel"*. URL: https://www.fao.org/fileadmin/templates/europeanunion/pdf/harmonized_strategy_GGWSSI-EN_.pdf.

Agri-Photovoltaik. N.d. URL: http://www.agrophotovoltaik.de/english/agrophotovoltaics/ (accessed: 10.05.2017).

Akaev A. A., Davydova O. I. 2021. A Mathematical Description of Selected Energy Transition Scenarios in the 21st Century, Intended to Realize the Main Goals of the Paris Climate Agreement. *Energies* 14(9): 2558. URL: https://doi.org/10.3390/en14092558.

Anthropogenic Transformation of the Terrestrial Biosphere. **2011.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369: 1010–1035.

Chamling P. 2010. *Sikkim Organic Mission 2015*. Gangtok: Food Security and Agriculture Development Department, Government of Sikkim.

FAOSTAT. 2003. *Statistic Database.* Rome: FAO. URL: http://www.fao.org.

Global Mechanism. N.d. *The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative. Facts and Figures*. URL: http://www.global-mechanism.org/content/great-green-wall-sahara-and-sahel-initiative.

Hannah L., Lohse D., Hutchinson C., Carr J. L., Lankerani A. 1994. A Preliminary Inventory of Human Disturbance of World Ecosystems. *Ambio* 23: 246–250.

Herrmann S. M., Sall I., Oumar S. 2014. People and Pixels in the Sahel: A Study Linking Coarse-Resolution Remote Sensing Observations to Land Users' Perceptions of Their Changing Environment in Senegal. *Ecology and Society* 19(3). DOI: 10.5751/ES-06710-190329.

Lanly J. P. **1982.** *Tropical Forest Resource.* FAO Forestry Paper 30. Rome: FAO.

Neuhoff D., Tashi S., Rahmann G., Denich M. 2014. Organic Agriculture in Bhutan: Potential and Challenges. *Organic Agriculture* 4: 209–221.

PBL. 2012. *Roads from Rio+20: Pathways to Achieve Global Sustainability Goals by 2050*. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Randers J. 2012. *2052: A Global Forecast for the Next Forty Year*s. Vermont: Chelsea Green Publishing. URL: http://www.2052.info/.

Rasmussen K., D'haen S., Fensholt R, Fog B., Horion S., Nielsen J. Ø., Rasmussen Vang L., Reenberg A. 2016. Environmental Change in the Sahel: Reconciling Contrasting Evidence and Interpretations. *Regional Environmental Change* 16(3): 673–680.

State Forestry Administration. 2011. *A Bulletin of Status Quo of Desertification and Sandification in China. Government Report*. Beijing. URL: http://www.china.org.cn/node_7064105/content_21685560.htm.

Trumper K., Bertzky M., Dickson B., Heijden G. van der, Jenkins M., Manning P. 2009. *The Natural Fix? The Role of Ecosystems in Climate Mitigation. A UNEP Rapid Response Assessment.* Cambridge: United Nations Environment Programme, UNEP-WCMC. URL: https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7852.

UNCCD

2016. *The Great Green Wall: Hope for the Sahara and Sahel*. Bonn: UN. URL: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/26042016_GGW_ENG.pdf.

2022. *Global Land Outlook.* URL: https://www.unccd.int/actions/global-land-outlook-glo.

Vuuren D. P. Van, Kriegler E., O'Neill B. C., Ebi K. L., Riahi K., Carter T. R., Edmonds J., Hallegatte S., Kram T., Mathur R., Winkler H. 2014. A New Scenario Framework for Climate Change Research: Scenario Matrix Architecture. *Climatic Change* 122(3): 373–386.

Weizsäcker E. U. von, Wijkman A. 2018. *Come on! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. A Report to the Club of Rome.* Cham: Springer, 2018.

World Resources, 1989–1990. **1989.** New York: Oxford Basic Book, Ink.