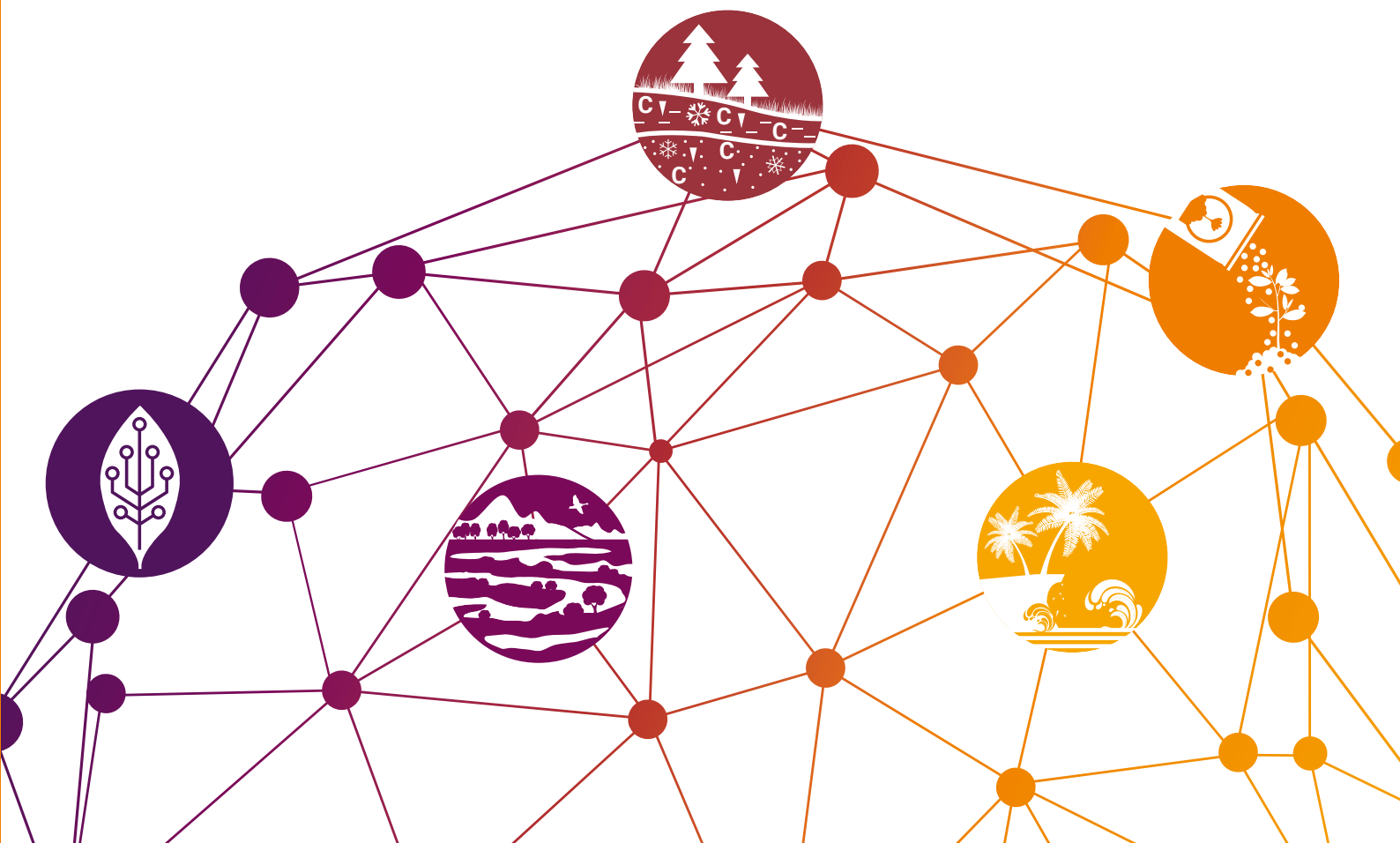


ПЕРЕДОВЫЕ РУБЕЖИ 2018/2019 ГОДА

Намечающиеся проблемы, имеющие экологическое измерение



© Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, 2019 г.
ISBN: 978-92-807-3739-4
Номер задания: DEW/2223/NA

Правовая оговорка

Настоящее издание может воспроизводиться полностью или частично и в любой форме для образовательных и некоммерческих целей без отдельного разрешения владельца авторских прав при условии обязательной ссылки на первоисточник. Программа ООН по окружающей среде будет признательна за направление ей одной копии каждой публикации, в которой настоящее издание используется в качестве источника.

Данная публикация не подлежит перепродаже или любому иному использованию в коммерческих целях без предварительного письменного разрешения Программы ООН по окружающей среде. Заявки о предоставлении такого разрешения, содержащие сведения о цели и тираже воспроизведения, следует направлять Директору Отдела коммуникации по адресу: Director, Communication Division, UN Environment, P.O. Box 30552 Nairobi, 00100 Kenya

Употребляемые обозначения и изложение материала в данной публикации не подразумевают выражения какого бы то ни было мнения со стороны Программы ООН по окружающей среде относительно правового статуса той или иной страны, территории или города, или их полномочных органов, или же относительно делимитации их границ или установления их пределов. С общими руководящими указаниями по вопросам, связанным с использованием приводимых в публикациях географических карт, можно ознакомиться по адресу: <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>

Упоминание какой-либо коммерческой компании или продукции в настоящей публикации не подразумевает их одобрения со стороны Программы ООН по окружающей среде. Запрещается использовать информацию из этой публикации, касающуюся запатентованных продуктов, для популяризации или рекламы.

© Авторские права на географические карты, фотографии и иллюстрации указываются в подписях к ним.

Предлагаемое название для цитирования:

ЮНЕП (2019). Передовые рубежи 2018/2019 года: намечающиеся проблемы, имеющие экологическое измерение. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Найроби.

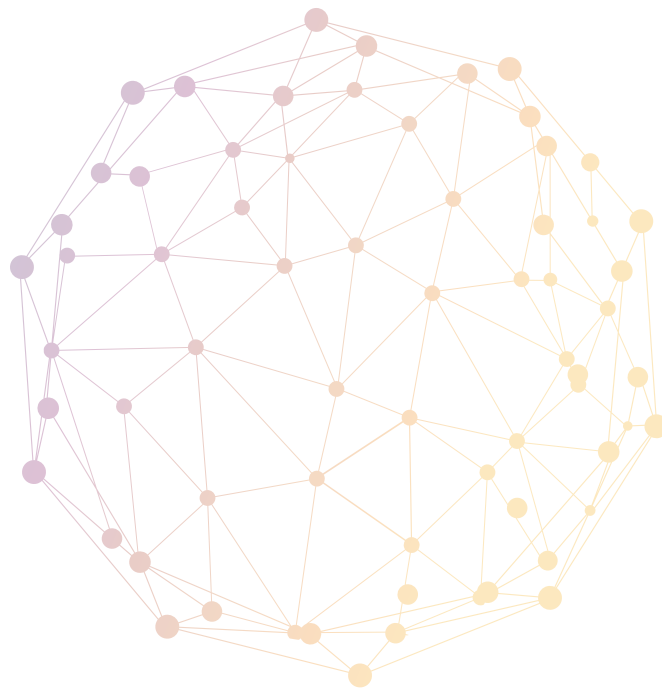
Производство

Отдел естественных наук
Программа ООН по окружающей среде
P.O. Box 30552
Nairobi, 00100, Kenya
Тел.: (+254) 20 7621234
Эл. почта: publications@unenvironment.org
Веб-сайт: www.unenvironment.org

Программа ООН
по окружающей среде
поощряет применение
экологически безопасных технологий
во всем мире и в своей деятельности.
Наши правила распространения печатных
изданий направлены на уменьшение
углеродного следа Программы ООН
по окружающей среде.

ПЕРЕДОВЫЕ РУБЕЖИ 2018/2019 ГОДА

Намечающиеся проблемы, имеющие экологическое измерение





Содержание

	Вступительное слово	7
	Выражение признательности	8
	Синтетическая биология: реконструирование окружающей среды	10
	Возможности и проблемы	10
	Переписывание кода жизни	12
	Новое использование прикладных технологий: от лаборатории к экосистеме	16
	Инновации требуют проявления мудрости	18
	Список использованной литературы	20
	Экологическая связность: мост к сохранению биоразнообразия	24
	Восстановление связности фрагментированных экосистем	24
	Движущие силы фрагментации	26
	Содействие внедрению решений, обеспечивающих связность	30
	Постановка целевых задач по обеспечению связности в будущем	32
	Список использованной литературы	34
	Вечномерзлые торфяники: теряя почву под ногами в теплеющем мире	38
	Ускорение изменений в Арктике	38
	Оттаивание вечной мерзлоты, разлагающийся торф и сложные взаимодействия	40
	Повышение осведомленности о вечномерзлых торфяниках	44
	Первоочередные задачи в области накопления знаний и расширения сетей взаимодействия	46
	Список использованной литературы	48
	Фиксация азота: от циклического загрязнения азотом к экономике, обеспечивающей рециркуляцию азота	52
	Глобальная проблема азота	52
	Общеизвестные и предполагаемые свойства азота	54
	Раздробленность политики и решения, направленные на формирование многооборотной экономики	58
	На пути к целостному международному подходу в отношении азота	60
	Список использованной литературы	62
	Плохая адаптация к изменению климата: как не попасть в западню на пути сохранения способности к эволюционному развитию	66
	Определение адаптации и плохой адаптации в контексте изменения климата	66
	Нарастание проблем плохой адаптации	68
	Предотвращение плохой адаптации в условиях ограничения глобального потепления не более чем на 1,5°C	73
	Список использованной литературы	74



Вступительное слово



В первом десятилетии XX-го века два немецких химика — Фриц Габер и Карл Бош — разработали способ недорогого и крупномасштабного производства синтетического азота. Благодаря этому изобретению началось массовое производство удобрений на основе азота, которое преобразовало сельское хозяйство по всему миру. Наряду с этим оно ознаменовало собой начало нашего долгосрочного вмешательства в баланс азота на Земле. В настоящее время ежегодные потери химически активного азота в окружающую среду оцениваются в 200 млрд долл. США, и это приводит к деградации наших земель, загрязняет воздух, которым мы дышим, и служит спусковым крючком распространения «мертвых зон» и токсичного цветения водорослей в наших водотоках.

Поэтому неудивительно, что многие ученые утверждают, что нынешнюю геологическую эру следует официально именовать эпохой «антропоцена». Всего за несколько десятилетий деятельность человека стала причиной ускорения темпов роста среднемировой температуры, которая повышается в 170 раз быстрее, чем в природных условиях. Более 75 процентов всей поверхности суши на нашей планете подверглось планомерному

изменению, а более 93 процентов всех рек навсегда изменили свое течение. Мы не только стали причиной кардинальных перемен в биосфере, но и обрели способность переписывать код структурных элементов, из которых состоят живые организмы, более того, научились создавать их практически с нуля.

Каждый год сеть ученых, специалистов и учреждений со всего мира ведет работу под эгидой Программы ООН по окружающей среде в целях выявления и анализа назревающих проблем, которые окажут глубокое воздействие на наше общество, экономику и окружающую среду. Одни из этих проблем неразрывно связаны с новыми удивительными технологиями, которые находят прикладное применение и несут непредсказуемые риски, тогда как другие являются вечными вопросами, как, например, фрагментация девственных ландшафтов и оттаивание вечномерзлой почвы. Загрязнение окружающей среды азотом является еще одной проблемой, ставшей непредвиденным последствием десятилетий деятельности человека в биосфере. Наконец, плохая адаптация к изменению климата — последняя из проблем, проанализированных в настоящем докладе, подчеркивает нашу неспособность адекватно и надлежащим образом приспособиться к меняющемуся вокруг нас миру.

Однако есть и хорошие новости, о которых следует рассказать. На следующих страницах читатель может узнать о том, что в решении глобальной проблемы регулирования круговорота азота в природе начинает формироваться целостный подход. В Китае, Индии и Европейском союзе предпринимаются новые многообещающие шаги, направленные на сокращение потерь и повышение эффективности азотных удобрений. В конечном итоге рекуперация и рециклирование азота, равно как и других ценных питательных веществ и материалов, может способствовать переводу сельского хозяйства на принципы экологически безопасного и устойчивого развития — отличительной черты подлинно многооборотной экономики.

Проблемы, исследованные в докладе «Передовые рубежи», должны служить напоминанием о том, что где бы мы ни вмешивались в природные процессы — будь то в мировом масштабе или на молекулярном уровне — мы рискуем создать долгосрочные факторы воздействия на наш общепланетарный дом. Но действуя предусмотрительно и работая вместе, мы можем упредить возникновение этих проблем и разработать такие решения, которые будут служить нам всем на благо будущих поколений.

Джойс Мсуйя

И. о. Директора-исполнителя

Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде

Выражение признательности

Синтетическая биология: реконструирование окружающей среды

Ведущие авторы

Бартоломей Колодзейчик, компания «H2SG Energy Pte. Ltd.», Сингапур

Натали Кофлер, Йельский институт биосферных исследований, Йельский университет, штат Коннектикут, Соединенные Штаты Америки

Соавторы и рецензенты

Марианела Арайя, Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии, Монреаль, Канада

Джеймс Булл, Факультет естественных наук, Техасский университет в Остине, штат Техас, Соединенные Штаты Америки

Джексон Чемпер, Департамент биологической статистики и вычислительной биологии, Корнеллский университет, штат Нью-Йорк, Соединенные Штаты Америки

Чэнь Лю, Департамент биологической статистики и вычислительной биологии, Корнеллский университет, штат Нью-Йорк, Соединенные Штаты Америки

Ёнгют Ютавон, Национальное агентство по научно-техническому развитию Таиланда, Патхумтхани, Таиланд

Экологическая связность: мост к сохранению биоразнообразия

Ведущий автор

Гэри Табор, Центр по сохранению крупных ландшафтов, штат Монтана, Соединенные Штаты Америки

Соавторы и рецензенты

Майя Банкова-Тодорова, Фонд сохранения видов Мохаммеда bin Зайеда, Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты

Камило Андрес Корреа Айрам, Научно-исследовательский институт биологических ресурсов им. Александра фон Гумбольдта, Богота, Колумбия

Летисия Коуту Гарсия, Федеральный университет Мату-Гросуду-Сул, Кампу-Гранди, Бразилия

Валери Капос, Программа ООН по окружающей среде — Всемирный центр мониторинга охраны природы, Кембридж, Великобритания

Эндрю Олдз, Факультет естественных наук и инженерного дела, Университет Солнечного берега, Маручидор, Австралия

Илеана Ступариу, Географический факультет, Бухарестский университет, Румыния

Вечномерзлые торфяники: теряя почву под ногами в теплеющем мире

Ведущий автор

Ханс Юстен, Грайфсвальдский университет / Грайфсвальдский центр по изучению болот, Грайфсвальд, Германия

Соавторы и рецензенты

Дианна Копански, Программа ООН по окружающей среде, Найроби, Кения

Дэвид Олефельдт, Факультет сельскохозяйственных, биологических и экологических наук, Альбертский университет, Эдмонтон, Канада

Дмитрий Стрелецкий, Географический факультет, Университет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, округ Колумбия, Соединенные Штаты Америки

Фиксация азота: от циклического загрязнения азотом к экономике, обеспечивающей рециркуляцию азота

Ведущие авторы

Марк Саттон, Центр по экологии и гидрологии, Эдинбург, Великобритания

Нандула Рагхурам, Университет Индрапрастха Гуру Гобинд Сингха, Нью-Дели, Индия

Тапан Кумар Адхья, Калингский институт промышленных технологий, Бхубанешвар, штат Одisha, Индия

Соавторы и рецензенты

Джилл Бэрн, Геологическая служба США, штат Колорадо, Соединенные Штаты Америки

Кристофер Кокс, Программа ООН по окружающей среде, Найроби, Кения

Вим де Врис, Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр, Вагенинген, Нидерланды

Кевин Хикс, Стокгольмский институт окружающей среды, Йорк, Великобритания

Клэр Ховард, Центр по экологии и гидрологии, Эдинбург, Великобритания

Сяотан Цзюй, Факультет сельскохозяйственных ресурсов и экологических наук, Китайский сельскохозяйственный университет, Пекин, Китай

Дэвид Кантер, Колледж искусств и наук, Нью-Йоркский университет, штат Нью-Йорк, США

Карджел Массо, Международный институт тропического сельского хозяйства, Ибадан, Нигерия
Жан Пьер Ометто, Национальный институт космических исследований, Сан-Жозе-дус-Кампус, Бразилия
Рамеш Рамачандран, Национальный центр по устойчивому управлению прибрежной зоной, Министерство окружающей среды, леса и изменения климата, Ченнаи, Индия
Ханс Ван Гринсвен, Нидерландское агентство экологических оценок (PBL), Гаага, Нидерланды
Вилфрид Винивартер, Международный институт прикладного системного анализа, Лаксенбург, Австрия

Плохая адаптация к изменению климата: как не попасть в западню на пути сохранения способности к эволюционному развитию

Ведущий автор

Кэтрин МакМюллен, Стокгольмский институт окружающей среды, Бангкок, Таиланд

Соавторы и рецензенты

Томас Даунинг, Глобальное партнерство по адаптации к изменению климата, Оксфорд, Великобритания
Энтони Патт, Институт экологических решений, Швейцарская высшая техническая школа Цюриха, Цюрих, Швейцария
Бернадетт Ресуррексьон, Стокгольмский институт окружающей среды, Бангкок, Таиланд
Джессика Трони, Программа ООН по окружающей среде, Найроби, Кения

Особой благодарности заслуживают:

Александра Бартельмес и Косима Тебетмейер, Грайфсвальдский центр по изучению болот, Германия; Марин Клиндер, Национальный центр данных по исследованию снега и льда, штат Колорадо, Соединенные Штаты Америки; Саломея Чаманджи, Дэвид Коул, Никольен Деланж, Анджелина Джампу, Филип Дрост, Вирджиния Гитари, Цзянь Лю, Ариана Маджини, Нада Матта, Полин Муго, Сюзан Мутеби-Ричардс, Шари Ниджман, Андреас Обрехт, Сэмюэл Опийо, Мозес Осани, Роксанна Самий, Раджиндер Сиан, Нандита Сурендран и Жозефина Вамбуа, Программа ООН по окружающей среде.

Консультанты по производству

Маартен Каппелле и Эдоардо Дзандри, Программа ООН по окружающей среде.

Производственная группа

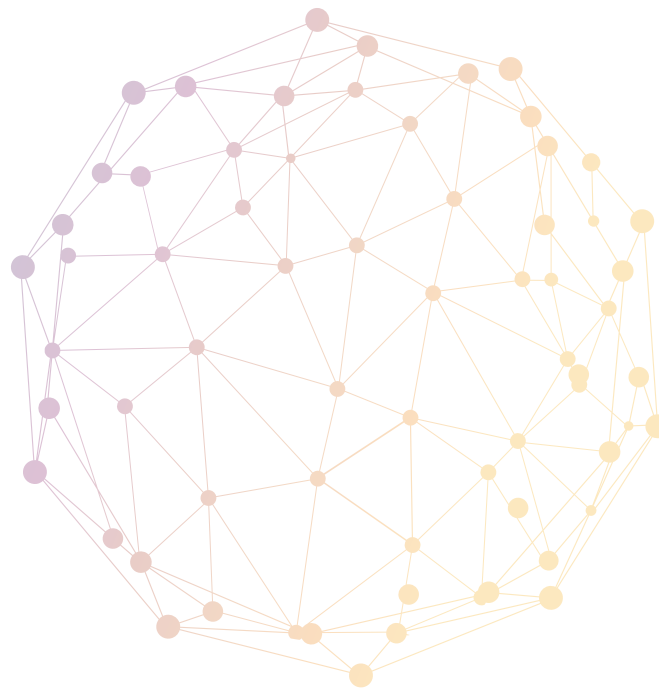
Главный редактор: Пинья Сарасас, Программа ООН по окружающей среде
Техническая поддержка: Аллан Лелей, Программа ООН по окружающей среде
Выпускающий редактор: Александра Хортон, Великобритания

Художественно-графическое оформление и верстка

Художник-оформитель: Одри Ринглер, Программа ООН по окружающей среде
Картограф: Джейн Муриити, Программа ООН по окружающей среде

Печать

ЮНОН / Секция типографских услуг / Найроби, сертифицировано по стандарту ISO14001:2004





Фотография предоставлена: oticki / Shutterstock.com

Фиксация азота: от циклического загрязнения азотом к экономике, обеспечивающей рециркуляцию азота

Глобальная проблема азота

В Ежегоднике ЮНЕП 2014 года особое внимание было уделено значению избыточных количеств химически активного азота в окружающей среде.¹ Содержащиеся в этой публикации выводы вызывают тревогу. Это объясняется не только масштабами и комплексным характером загрязнения окружающей среды азотом, но и тем, что в деле его сокращения достигнут столь незначительный прогресс. Лишь небольшая часть работоспособных технических решений начала применяться в более широких масштабах, при этом мир продолжает заниматься деятельностью, приводящей к загрязнению азотом, что в значительной степени способствует снижению качества воздуха, ухудшению состояния наземной и водной среды, усугублению последствий изменения климата и истощению озонового слоя.²⁻¹⁰ Эти негативные последствия препятствуют прогрессу в достижении Целей устойчивого развития, поскольку они сказываются на здоровье человека, управлении ресурсами, источниках средств к существованию и экономике различных стран.¹¹⁻¹⁵ И все же

признаки надежды есть. За последние четыре года в подходах к регулированию загрязнения окружающей среды азотом отмечаются определенные изменения. Они включают в себя новое мышление как в сфере потребления, так и в области производства, позволяющее предпринять реальные шаги, с тем чтобы решить проблему азота.¹⁶⁻²⁴

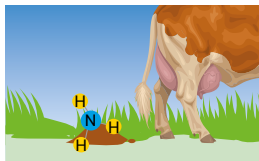
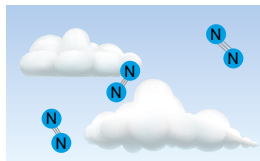
В атмосфере Земли азот присутствует в огромных количествах. В форме молекулы N_2 азот безвреден и составляет 78 процентов объема воздуха, вдыхаемого человеком. Два атома азота удерживаются вместе сильной тройной связью ($N \equiv N$), что делает этот газ чрезвычайно стабильным и химически неактивным. Наша планета извлекает из этого пользу, поскольку N_2 создает безопасную воздушную среду, в которой жизнь может процветать, избегая огнеопасных последствий чрезмерной насыщенности кислородом. С экологической точки зрения интерес к азоту сосредоточен на преобразовании N_2 в другие химически активные формы. Для простоты ученые называют все другие формы азота «фиксированным» или «химически активным» азотом (N_f).^{11,25}

Существует много типов N_r , обладающих различными свойствами — как полезными, так и вредными, — и именно в силу этого возникают осложнения. Химически активный азот абсолютно необходим для всех живых организмов, обитающих на Земле. Например, аммиак (NH_3) является основной аминокислот, белков, ферментов и ДНК и, таким образом, занимает центральное место в метаболизме всех форм жизни. Аналогичным образом оксид азота (NO) действует в качестве одного из ключевых биологических сигнальных соединений, в то время как аммоний (NH_4^+) и нитрат азота (NO_3^-) являются основными питательными формами азота, необходимыми для роста растений. Следует отметить, что основной ценностью соединений N_r является то, что они помогают производить пищу и корма для животных. Используя процесс Габера-Боша, обеспечивающий искусственную «фиксацию» азота, с целью поддержания растущего населения мира человечество значительно увеличило производство таких удобрений, как аммиак, мочевины и нитраты.²⁶ Одновременно люди получают пользу от естественной биологической фиксации N_2 в результате его преобразования в N_r специальными бактериями, обитающими в почве на корнях бобовых сельскохозяйственных культур.

Этот полезный результат следует учитывать при расчете значительных потерь аммиака, нитратов, оксида азота (NO),

закиси азота (N_2O) и многих других форм N_r , которые являются загрязнителями, оказывающими разнообразное негативное воздействие на окружающую среду. Эти воздействия могут возникать сразу после внесения удобрений, в то время как навоз животных, экскременты человека и другие органические отходы также вызывают значительные потери N_r в окружающую среду. Хотя считается, что доля N_r , потерянная в окружающей среде в результате биологической фиксации азота, меньше, чем вследствие применения многих удобрений на основе экскрементов животных и людей, свой вклад в загрязнение окружающей среды различными формами N_r вносят оба источника. Химически активный азот также образуется как побочный продукт деятельности человека. Например, при сжигании ископаемых видов топлива и биомассы высвобождаются NO и NO_2 , которые в совокупности называются NO_x . Хотя в целях сокращения выбросов NO_x в атмосферу на транспорте и в энергетике предпринимаются значительные усилия, в быстро развивающихся странах мира объемы этих выбросов по-прежнему увеличиваются.^{6,12} В целом люди производят своеобразный коктейль из различных форм химически активного азота, который создает угрозу здоровью, климату и экосистемам, что переводит загрязнение азотом в разряд самых острых проблем защиты окружающей среды, стоящих перед человечеством. Однако за пределами научного сообщества масштаб этой проблемы преимущественно замалчивается и не признается.

Различные формы азота в окружающей среде



Молекулярный (N_2)

Источник
 N_2 составляет 78% воздуха, которым мы дышим.

Полезность
 N_2 обеспечивает стабильность атмосферы, делая ее пригодной для жизни на Земле. Благодаря азоту небо выглядит голубым.

Последствия
 N_2 безвреден и химически неактивен.

Аммиак (NH_3)

Источник
Навоз, моча, удобрения и сжигание биомассы.

Полезность
 NH_3 является основой аминокислот, белков и ферментов. Аммиак широко используется в качестве удобрения.

Последствия
 NH_3 вызывает эвтрофикацию и негативно сказывается на биоразнообразии. Аммиак образует в воздухе твердые частицы, которые негативно сказываются на здоровье.

Оксид азота (NO) и диоксид азота (NO_2)

Источник
Сжигание в транспортном, промышленном и энергетическом секторах. В своей совокупности NO и NO_2 известны как NO_x .

Полезность
NO является жизненно необходимым компонентом с точки зрения физиологии человека. NO_2 , насколько известно, не приносит никакой пользы.

Последствия
NO и NO_2 (или NO_x) являются основными загрязнителями воздуха, вызывающими болезни сердца и дыхательных путей.

Нитрат (NO_3^-)

Источник
Сточные воды, сельское хозяйство и окисление NO_x .

Полезность
Широко используется в удобрениях и взрывчатых веществах.

Последствия
Нитраты образуют твердые частицы в воздухе и негативно сказываются на здоровье человека. В воде нитраты вызывают эвтрофикацию.

Закись азота (N_2O)

Источник
Сельское хозяйство, промышленность и сжигание.

Полезность
Используется как компонент различных видов ракетного топлива и в медицине как ингаляционный анестетик («веселящий газ»).

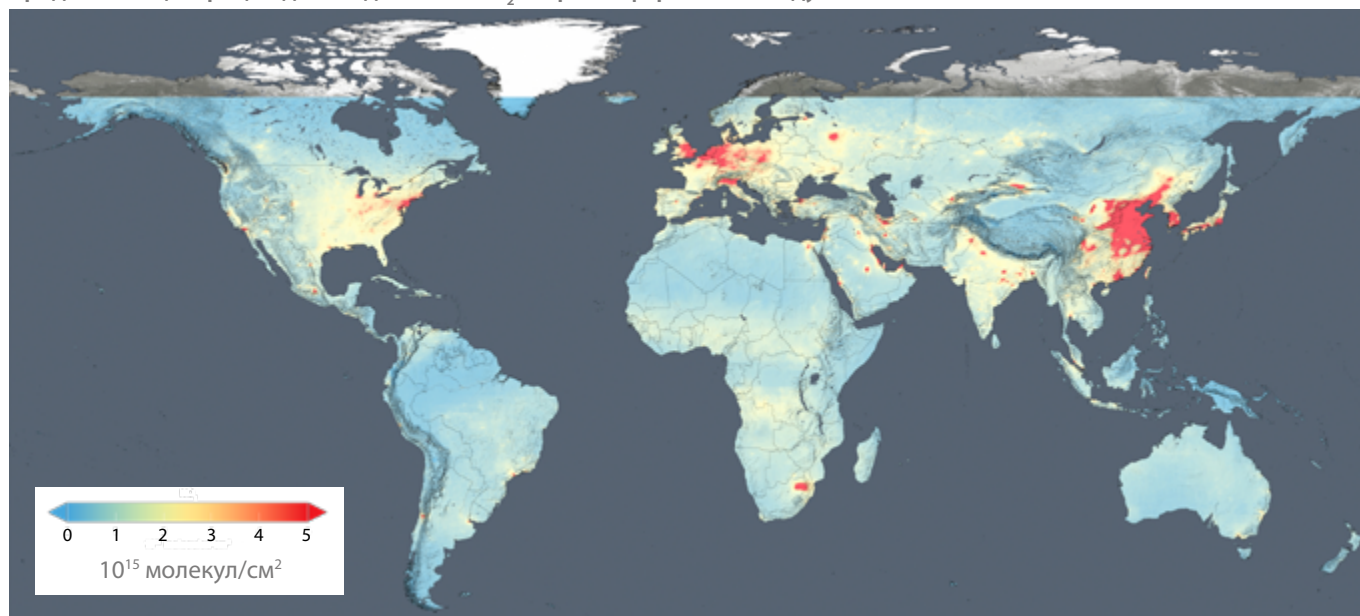
Последствия
 N_2O является парниковым газом — в 300 раз более мощным, чем CO_2 . Закись азота также приводит к истощению стратосферного озонового слоя.

Общеизвестные и предполагаемые свойства азота

Как круговорот соединений азота в природе, так и их воздействие на человека хорошо документированы.^{4,12,27,28} Но все же, если сравнивать уровень внимания, который уделяется роли углерода в изменении климата и проблемам круговорота азота, следует признать, что общественного обсуждения необходимости принятия мер в отношении азота практически не ведется. Повышенные концентрации соединений N_x в атмосфере над крупными городами и над сельскохозяйственными районами поддаются количественному измерению, например, можно измерить уровень NO_x , NH_3 и тонкодисперсных твердых частиц ($TC_{2.5}$). Повышенные концентрации NO_3^- в грунтовых водах сельскохозяйственных районов в отдельных регионах мира и в реках ниже по течению от крупных городов с невысоким уровнем очистки сточных вод или вообще без нее в равной степени поддаются количественной оценке. Концентрации парникового газа N_2O в атмосфере нарастают все более быстрыми темпами. Абсолютно ясно, что антропогенные факторы оказывают значительное влияние на круговорот азота в природе и порождают множество форм загрязнения окружающей среды и воздействия на нее. Тем самым N_x становится одним из ключевых загрязнителей окружающей среды, в отношении которого предстоит принимать меры как на местах, так и в глобальном масштабе.²²

В ходе проведения Европейской оценки по азоту было выявлено пять основных областей, подверженных угрозе загрязнения окружающей среды азотом: качество воды, качество воздуха, баланс парниковых газов, состояние экосистем и биоразнообразие, и качество почвы.⁴

Средняя концентрация диоксида азота (NO_2) в тропосфере в 2014 году



Фотография предоставлена: NASA Goddard Space Flight Center

NO_2 — это газ, выбрасываемый главным образом автомобилями, электростанциями и промышленными предприятиями. NO_2 и другие NO_x вступают в реакцию с другими загрязнителями воздуха, образуя вредный приземный озон, вызывая кислотные дожди и формируя твердые частицы.

В этом докладе подчеркивалось, что загрязнение окружающей среды азотом само по себе не является новой проблемой, но что регулирование выбросов азота должно стать составной частью решения большого числа существующих экологических проблем. Что касается производства продовольствия, то в мировом масштабе азот используется крайне неэффективно.^{20,29} С точки зрения продовольственной цепочки в целом только порядка 20 процентов N_x , используемого в сельскохозяйственном производстве, попадает в продукты питания человека.^{11,17} Это означает, что вызывающие тревогу 80 процентов тратятся впустую в виде загрязнения и попадания N_2 в окружающую среду, что свидетельствует о том, что загрязнение окружающей среды N_x представляет собой массовую потерю ценных ресурсов.

Хотя в прошлом усилия были направлены на то, чтобы решить вопросы, связанные с различными формами N_x , по отдельности, их рассмотрение в совокупности имеет ряд преимуществ. Во-первых, это позволяет провести комплексное рассмотрение вопросов возникающего синергетического эффекта и возможность достижения компромиссов, основанных на балансе между преимуществами N_x и негативным воздействием различных видов загрязнения N_x . Во-вторых, и это не менее важно, такой подход побуждает к проведению количественной оценки общественных издержек по всему комплексу последствий загрязнения азотом, с тем чтобы создать информационную основу политических решений и общественного мнения.^{13,30} Проведение оценки затрат может способствовать определению направленности политических мер по смягчению воздействия, однако об истинной цене загрязнения



Видеоматериал: Спасение Великих озер от токсичных водорослей



Фотография предоставлена: Tom Archer / Michigan Sea Grant
(www.miseagrant.umich.edu)

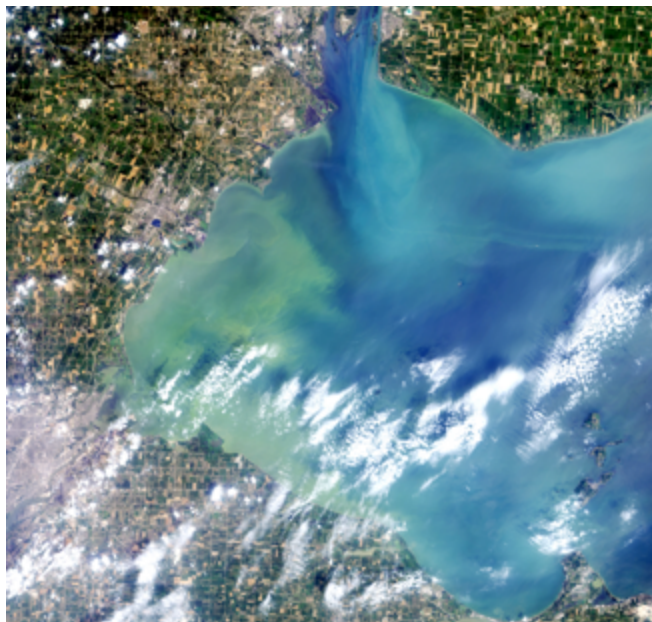
© PBS NewsHour

Цветение водорослей близ острова Пели на юго-востоке озера Эри

Видеоматериал доступен по адресу:
<https://www.youtube.com/watch?v=b6JzL4NG26k>

окружающей среды N_f можно только догадываться, поскольку факторы воздействия, как правило, являются принципиально «несоизмеримыми», то есть универсальную меру найти сложно. Имеющиеся оценки, основанные на готовности людей снижать риски загрязнения окружающей среды N_f или оценки затрат на поддержание здоровья экосистем и медицинские услуги тем не менее являются информативными и указывают на то, что в мировом масштабе эти затраты составляют от 340 млрд долл. США до 3,4 трлн долл. США в год.¹¹

Однако куда более простой расчет может оказаться даже более информативным. В мировом масштабе порядка 200 миллионов тонн ресурсов N_f становятся отходами или теряются в окружающую среду ежегодно в форме N_2 и $N_2^{11,28}$. Если умножить эту величину на номинальную цену удобрений, эквивалентную 1 долл. США за 1 кг N_f , то общая сумма потерь денежных средств составит около 200 млрд долл. США в год. Это является мощным стимулом к действию. Такая идея актуальна и для районов со слишком низкими концентрациями N_f , таких как Африка к югу от Сахары, где сокращение масштабов загрязнения окружающей среды N_f помогло бы повысить эффективность использования ограниченного числа имеющихся источников N_f в обеспечении производства продовольствия.³¹ Преобразование соединений N_f обратно в N_2 (так называемая «денитрификация») не обеспечивает безопасного способа избежать загрязнения окружающей среды N_f . Скорее, ситуация указывает на необходимость получения новых исходных данных по N_f . Действительно, чтобы повысить эффективность использования азота (ЭИА) в масштабах всей экономики, все потери N_2 и N_f необходимо сократить.



Фотография предоставлена: Jeff Schmaltz / NASA Goddard Space Flight Center

Цветение водорослей (отмечено молочно-зеленым цветом) на западе озера Эри между Канадой и Соединенными Штатами Америки 3 августа 2014 года. Частое цветение водорослей на озере Эри вызвано азотной и фосфорной нагрузкой, связанной с попаданием в речной сток удобрений и навоза с сельскохозяйственных угодий, сбросом городских сточных вод и атмосферными осадками.



Видеоматериал: Антропогенное воздействие на качество воздуха в мировом масштабе



Фотография предоставлена: Doin / Shutterstock.com

Видеоматериал доступен по адресу:
https://www.youtube.com/watch?time_continue=7&v=aMnDoXuTGS4

© NASA Goddard
Space Flight Center

Сжигание ископаемых видов топлива в транспортном, энергетическом и промышленном секторах



Высокотемпературное сжигание **угля, нефти и природного газа** высвобождает большое количество N_f в форме NO и NO_2 , совместно известных как NO_x

На долю **транспортного сектора** приходится более **65%** выбросов NO_x

Доля **антропогенной фиксации N_2 в N_f** по причине **сжигания ископаемых видов топлива** составляет **13%**



Производство удобрений

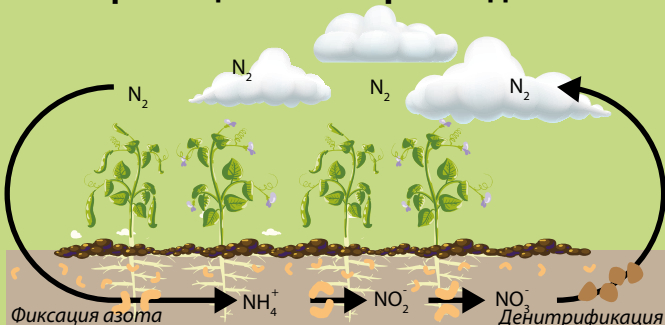
Процесс Габера-Боша был разработан более 100 лет тому назад для удовлетворения растущих потребностей в массовом промышленном производстве азотных удобрений на основе N_f и взрывчатых веществ на основе азота. Аналогично естественной фиксации азота бактериями **этот процесс обеспечивает искусственную фиксацию атмосферного N_2 в аммиаке (NH_3)**.



На **производство удобрений** приходится **63%** антропогенной фиксации N_2 в N_f

Биологическая фиксация азота при возделывании сельскохозяйственных культур

В природе N_2 может быть преобразован в N_f при ударе молнии или в результате биологической фиксации азота азотфиксирующими бактериями

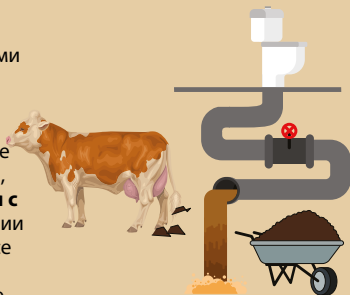


N_f можно также биологически преобразовать обратно в N_2 путем **денитрификации** анаэробными бактериями. Эти естественные процессы обеспечивают сбалансированный круговорот азота в природе, но расширение масштабов **культивирования азотфиксирующих сельскохозяйственных культур**, таких как бобовые, значительно увеличило поступления и потери N_f в окружающую среду.

На **биологическую фиксацию азота при культивировании сельскохозяйственных культур** приходится **24%** преобразования N_2 в N_f

Отходы

Помимо того, что ключевыми факторами сокращения выбросов N_f являются производство и сжигание ископаемых видов топлива, **роль системы обращения с отходами** в предотвращении каскадного поступления все большего количества N_f в окружающую среду также имеет значение



В отличие от коммунально-бытовых стоков и сбросных вод, образования больших количеств **пищевых отходов можно избежать**

Коммунально-бытовые стоки, сбросные воды и пищевые отходы содержат белки. Около **16% белка** приходится на азот.



Наибольшие объемы потерь продовольствия и пищевых отходов приходится на **зерновые, фрукты, овощи, корнеплоды и клубнеплоды**

Каждый год около **1/3 продовольствия, производимого** во всем мире для потребления человеком, **теряется или тратится впустую**

Каскадное преобразование азота

Азот жизненно необходим для любого живого организма. Он является составной частью ДНК, аминокислот, белков, хлорофилла, ферментов, витаминов и многих других органических соединений.

N_2 имеется в изобилии, но **метаболически** он **непригоден** для использования живыми организмами, за исключением некоторых микробов. Чтобы сделать азот пригодным для использования, N_2 необходимо преобразовать в другие формы азота, то есть в **химически активный азот** N_x .

На **78%** атмосферный воздух состоит из N_2

Закись азота N_2O — это **парниковый газ**, который в 300 раз мощнее CO_2 и истощает озоновый слой

Почти **80%** антропогенных выбросов N_2O приходится на сельское хозяйство

В мировом масштабе **80%** выбросов **аммиака NH_3** приходится на деятельность человека, по большей части в результате **применения удобрений и разведения домашнего скота**

Аммиак и азотная кислота вступают в реакцию, приводящую к образованию **твердых частиц** аммиачной селитры, тем самым создавая опасность возникновения респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний

Выбросы N_x могут смешиваться с атмосферными осадками, вызывая **азотнокислые дожди**

50% азотных удобрений, вносимых в почву сельскохозяйственных угодий, в конечном итоге **загрязняют окружающую среду** или теряются в результате **денитрификации**, превращаясь в исходный N_2

Нитраты NO_3^- с сельскохозяйственных угодий могут просачиваться через почву в **грунтовые воды**, оказывая негативное воздействие на качество **запасов питьевой воды** и создавая значительный риск для **здоровья человека**

Обогащение N_x способствует **эвтрофикации**, приводя к **вредному цветению водорослей, образованию мертвых зон и утрате биоразнообразия** в пресноводной и морской среде

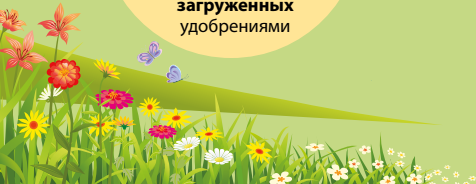
Длительное применение удобрений на основе аммония приводит к тому, что **почва становится кислой**, что оказывает негативное воздействие на возделывание сельскохозяйственных культур

Загрязнение аммиаком вызывает **эвтрофикацию**, закисление почвы и прямое токсическое воздействие на организмы, **сокращая видовое богатство и разнообразие**

Оксиды азота (NO_x) негативно сказываются на качестве воздуха в городах. Острое и хроническое воздействие NO_2 ведет к возникновению **респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний** и повышению уровня смертности. Уязвимыми к NO_2 являются дети, пожилые люди и астматики



В 2016 году в мире было использовано **105 миллионов метрических тонн** азотных удобрений, что эквивалентно **4,2 миллиона грузовиков, доверху загруженных удобрениями**



Отсутствие единой политики и решения, направленные на формирование многооборотной экономики

Политические установки в области сокращения выбросов азота так же, как научные исследования азота, отнесены к различным направлениям охраны окружающей среды и формам N_f . Факторы воздействия N_f охватывают множество областей политики, таких как борьба с загрязнением воздуха, адаптация к изменению климата, политика в отношении пресноводной и морской среды, сохранение биоразнообразия, здравоохранение и обеспечение продовольственной безопасности. Эта раздробленность широко проявляется во внутренней политике многих стран, но вместе с тем она столь же очевидна и в Целях устойчивого развития (ЦУР). Изучение ЦУР и лежащих в их основе показателей свидетельствует о том, что практически в каждом случае азот оказывает непосредственное воздействие, но почти всегда это воздействие незаметно. В настоящее время из связанных с азотом показателей разрабатывается только показатель, предлагаемый в рамках целевой задачи ЦУР 14.1 «Сохранение морских экосистем». ³² Предложения о включении ЭИА, или потерь азота, в набор показателей ЦУР пока не приняты. ^{20,33}

В компромиссных политических решениях, связанных с отдельными аспектами круговорота азота в природе, нетрудно заметить последствия деления политики на различные направления. Например, реализация политики в отношении сокращения загрязнения водных ресурсов NO_3^- в Европейском Союзе привела к полному запрету на внесение навоза на поля в зимние «закрытые периоды». Однако это привело к расширению масштабов внесения навоза весной и летом, результатом чего, в свою очередь, стало повышение пиковых концентраций аммиака в атмосфере. ³⁴ Этого сезонного эффекта удалось избежать лишь частично в нескольких странах ЕС, потребовавших, чтобы вносимый на поля навоз отличался низким уровнем выбросов NH_3 . ³⁵ Еще одним примером является рекомендация о размещении крупного рогатого скота в закрытых помещениях в целях сокращения влияющих на климат выбросов N_2O . Однако даже при наличии наилучших технических мер по ограничению таких выбросов это, как правило, приводит к увеличению выбросов NH_3 . ³⁶ Такие компромиссные решения характерны и в случае выбросов в результате сжигания топлива. Например, внедрение катализаторов для сокращения выбросов NO_x в 1990-е годы привело к увеличению выбросов N_2O и NH_3 .

Эти примеры служат иллюстрацией настоятельной необходимости объединения научных усилий и политических действий в отношении азота по всем возникшим угрозам. ^{11,30,37} Например, принятый Правительством Китая в 2015 году «План действий по обеспечению нулевого прироста внесения удобрений» направлен на предотвращение увеличения масштабов применения синтетических удобрений к 2020 году без сокращения производства продовольствия, что ограничит все формы загрязнения окружающей среды N_f . В качестве следующего шага было предложено сосредоточить внимание на устранении социально-экономических барьеров, связанных с размером фермерских хозяйств, инновациями и передачей информации. ³⁸



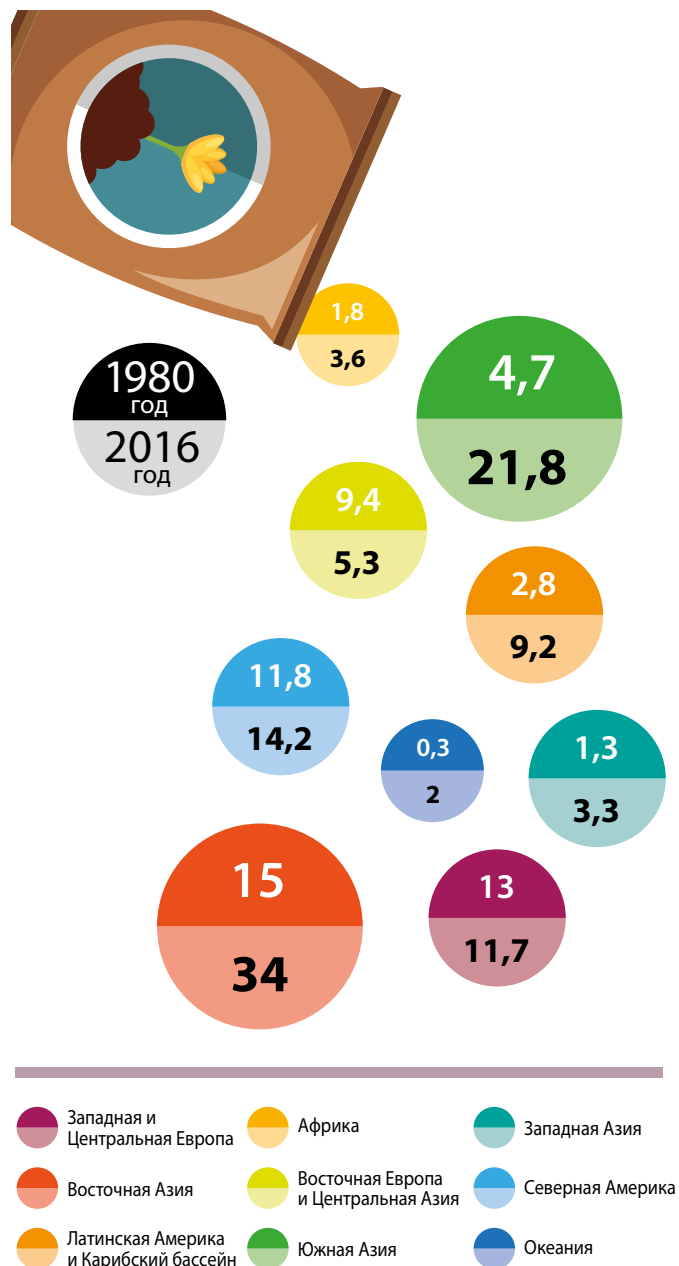
Азот, питательные вещества и многооборотная экономика

Пакет мер по формированию многооборотной экономики, принятый Европейским союзом в 2015 году, преследует цель максимально возможного повышения эффективности использования ресурсов на всех этапах цепочки создания стоимости — производства, потребления, обращения с отходами и переработки вторичного сырья. ^{42,43} В этом плане действий признается, что управление и торговля органическими удобрениями и удобрениями на основе отходов имеют ключевое значение для рекуперации и рециркуляции биогенных питательных веществ, таких как азот и фосфор, в экономике ЕС. Новые нормативно-правовые акты поощряют экологически безопасные инновационные способы производства органических удобрений с использованием биоотходов и побочных продуктов животного происхождения, таких как высушенный или компостированный навоз, а также других сельскохозяйственных отходов, доступных из внутренних источников. В настоящее время в ЕС рециркулируется и применяется в качестве удобрений лишь 5 процентов органических отходов. Создание благоприятных условий для свободного трансграничного перемещения биоудобрений приведет к формированию нового рынка и цепочки поставок вторичного сырья в рамках ЕС. Согласно оценкам в результате этого будет создано около 120 000 рабочих мест. Ожидается, что извлечение азота из биоотходов уменьшит или заменит потребность в синтетических или неорганических азотных удобрениях, производство которых сопровождается высоким уровнем выбросов углерода и энергозатрат. В то же время это будет способствовать дальнейшему снижению потерь химически активного азота в окружающую среду.

Мобилизация усилий, направленных на формирование многооборотной экономики путем обеспечения рециркуляции азота и других питательных веществ, начинается на фермах, где сокращение потерь позволяет более эффективно поставлять питательные вещества, необходимые для поддержки роста сельскохозяйственных культур. Одной из основных потребностей в этой связи является предоставление практических инструментов, которыми фермеры могли бы руководствоваться при сокращении поступления азота для учета сокращения потерь от загрязнения азотом, что достигается за счет применения методов смягчения последствий. Эти инструменты должны основываться на результатах проведения соответствующих анализов почвы, позволяющих фермерам обрести уверенность в своей способности произвести тонкую настройку процесса поступления питательных веществ.

Однако существует также огромный потенциал для расширения масштабов повторного использования азота и других питательных веществ в целях производства товаров с добавленной стоимостью, пользующихся спросом на рынке. Так же как крупные инвестиции преобразуют жизнь общества, формируя «низкоуглеродную экономику» (например, за счет все более широкого использования возобновляемых источников энергии), ценность азота предполагает возникновение значительных экономических возможностей вследствие инвестиций в «многооборотную азотную экономику».

Потребление всех видов азотных удобрений в 1980 и 2016 годах (в млн метр. тонн) в разбивке по регионам



Источник данных: Международная ассоциация производителей минеральных удобрений (<https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>)

Нетрудно также спрогнозировать, что дальше последует переход от круговорота азота в сельском хозяйстве к модели многооборотной экономики, обеспечивающей рециркуляцию азота. В этом плане повышение эффективности и снижение потерь удобрений, биологической фиксации азота, мочи и навоза позволят большему количеству свежего азота достигать намеченных пищевых и биоэнергетических продуктов. В то же время переработка животноводческих и человеческих экскрементов в новые удобрения открывает возможность сбыта рециклированных удобрений на рынке.

Что касается тех случаев, когда источником выбросов NO_x является сжигание топлива, то здесь ситуация отличается коренным образом, поскольку все имеющиеся технологии, например каталитическое и некаталитическое восстановление, сосредоточены на денитрификации NO_x обратно в N_2 . И все же такой подход приводит к огромным потерям ресурсов. Если объем глобальных выбросов NO_x умножить на цену N_1 -удобрений, то в мировом масштабе этот ежегодно образующийся ресурс составит 50 млрд долл. США, что свидетельствует о необходимости разработки и внедрения технологий для восстановления NO_x до NO_3^- .^{11,39}

В Индии финансовые перспективные планы также определяют политику правительства, которое с 2016 года требует, чтобы все удобрения на основе мочевины были покрыты маслом, полученным из семян маргозы, что позволяет уменьшить как потери N_1 в окружающую среду, так и расходование финансовых средств, выделяемых в форме субсидирования несельскохозяйственных применений мочевины. Этот же принцип лежит в основе обнародованного в ноябре 2017 года призыва премьер-министра Индии к фермерам о сокращении использования удобрений в два раза к 2020 году, а также государственной поддержки натурального земледелия с нулевым балансом выбросов (НЗНБВ) в некоторых индийских штатах. Движение НЗНБВ уделяет особое внимание тому, чтобы в почву не вносились дорогостоящие удобрения и пестициды, что поможет фермерам избежать возникновения задолженности, а также будет способствовать продвижению экологически безопасных возможностей улучшения гумуса, биологического состояния почвы и повышения ее плодородия. Благодаря партнерству между банком «БНП Париба», Программой ООН по окружающей среде и Международным центром научных исследований в области агролесоводства (МЦНИАЛ) при посредстве Фонда финансирования устойчивого развития в Индии (ФФУРИ) в штате Андхра-Прадеш оказывается поддержка стремительному расширению сферы охвата движения НЗНБВ, к которому присоединяются тысячи фермеров-энтузиастов. Этот новаторский подход основан на том, что займы, предназначенные для поддержки инвестиций и расширения масштабов производства, погашаются правительством, поскольку при сокращении использования удобрений потребуется гораздо меньше субсидий на их приобретение.^{40,41}

На пути к целостному международному подходу в отношении азота

Отрадно отметить, что несколько стран на экспериментальной основе уже применяют более комплексные подходы к регулированию кругооборота азота. Например, Германия оперативно отреагировала на Европейскую оценку по азоту, разработав комплексную стратегию в этой области.^{23,44} Для многих стран трудность заключается в том, что ответственность за меры реагирования на угрозы, создаваемые азотом, распределяются между несколькими министерствами, что затрудняет координацию действий. Например, в Бразилии под сельское хозяйство по-прежнему отводятся большие территории, и проблема более эффективного устранения взаимозависимости между растениеводством и животноводством, с одной стороны, и их воздействием на окружающую среду, с другой, в явном виде не рассматривается.⁴⁵ На международном уровне трансграничное воздействие N₂ также требует принятия четкого законодательства и политических действий.

Члены Международной инициативы по азоту (МИА) уделяют значительное внимание этим проблемам. Первым шагом стало сотрудничество с Программой ООН по окружающей среде в целях выработки скоординированного подхода к научной поддержке разработки международной политики в рамках «Международной системы регулирования азота» (МСРА).

При поддержке Глобального экологического фонда и 80 организаций-партнеров участники МСРА разрабатывают руководящие указания по регулированию кругооборота азота, интеграции потоков и воздействий, оценке затрат и выгод и

Видеоматериал: Загрязнение воздуха в результате сельскохозяйственной деятельности



Фотография предоставлена: gillmar / Shutterstock.com

© European Union

Видеоматериал доступен по адресу:
https://www.youtube.com/watch?v=07P_wXTTusi

Видеоматериал: Почему удобрения влияют на окружающую среду и ваши заработки



Рисунок предоставлен: Visual Generation / Shutterstock.com

Видеоматериал доступен по адресу:

<https://www.youtube.com/watch?v=5TzzPOy1T3g>

© Environmental Defense Fund

будущим сценариям по азоту. В рамках МСРА также организуются региональные мероприятия с участием многих стран с целью демонстрации той пользы, которую может принести целостная система регулирования кругооборота азота в природе. Одним из основных результатов этой инициативы станет первая Глобальная оценка по азоту, которую планируется опубликовать в 2022 году.

Следующая задача заключается в разработке более последовательной рамочной политической основы регулирования кругооборота азота. Необходимость ее разработки четко прослеживается во многих резолюциях Ассамблеи Организации Объединенных Наций по окружающей среде, касающихся азота: 2/6 (Парижское соглашение), 2/7 (химические вещества и отходы), 2/8 (устойчивое потребление и производство), 2/9 (пищевые отходы), 2/10 (океаны), 2/12 (коралловые рифы), 2/24 (деградация земель), 3/4 (окружающая среда и здоровье), 3/6 (почва), 3/8 (качество воздуха) и 3/10 (загрязнение воды).^{46,47} Наиболее четко это отражено в резолюции 3/8, в которой содержится призыв к правительствам «использовать синергию в результате эффективного регулирования азота для уменьшения загрязнения воздуха, морской среды и воды».

В ходе недавних дискуссий в научных и политических кругах изучался вопрос о том, как более эффективно координировать участие в политике регулирования кругооборота азота.⁴⁸ К числу возможных вариантов относятся:

Вариант 1: Разнесение проблемы кругооборота азота по различным рамочным политическим основам — нынешнее положение дел.
 Вариант 2: Придание мерам по регулированию кругооборота азота ведущей роли в рамках одного из действующих политических механизмов. Это создаст проблему с точки зрения рамок предоставленного мандата, поскольку существующие многосторонние природоохранные соглашения (МПС) затрагивают лишь часть этой проблемы.

Вариант 3: Новая международная конвенция по решению проблемы азота. В настоящее время такой подход мало кто поддерживает.

Вариант 4: «Межконвенционный координационный механизм по азоту», способный стать межправительственным форумом для межучрежденческого сотрудничества по азоту, возможно, в рамках мандата Ассамблеи Организации Объединенных Наций по окружающей среде.

В настоящее время координационный механизм отсутствует, что ограничивает возможности участников действующих МПС учиться друг у друга, хотя требовать, чтобы МКМА вел работу с участниками многих МПС по отдельности, также было бы неэффективно. Координационный механизм может служить средством активного привлечения государств-членов и участников соответствующих МПС. Основные группы и заинтересованные стороны Программы ООН по окружающей среде уже оказывают содействие вовлечению деловых кругов и гражданского общества в эту работу. Следует отметить, что Вариант 4 по-прежнему остается лишь одним из вариантов, но не более того. Именно национальным правительствам надлежит обсудить, какой из подходов является наиболее гибким, эффективным и экономичным.

Тем не менее это обсуждение указывает на еще одно преимущество. Становится все более очевидным, что мировое сообщество нуждается в целостном подходе к научным исследованиям и политике в области регулирования круговорота азота в природе. Во-первых, перспектива многосекторального подхода, основанного на использовании многих источников, позволяет учитывать синергетический эффект и возможные компромиссные решения. Это принесло бы пользу сельскому хозяйству и промышленности, обеспечив более согласованную основу для принятия деловых решений. Во-вторых, целостный подход закладывает фундамент для развития в перспективе многооборотной экономики, что имеет жизненно важное значение для стимулирования преобразований. Кроме того, такой подход к проблеме азота становится иллюстрацией того, как будущая политика в области охраны окружающей среды могла бы обеспечить более эффективную координацию действий по различным направлениям. По мере разработки Программой ООН по окружающей среде своей стратегии превращения Земли в «планету, свободную от загрязнения», извлеченные уроки, вероятно, будут приобретать все большее значение и для решения комплекса других взаимосвязанных проблем загрязнения.

Межконвенционный координационный механизм по азоту



Видеоматериал:
 Проблема сельскохозяйственного аммиака



Фотография предоставлена: Mark Sutton
 Видеоматериал доступен по адресу:
<https://www.youtube.com/watch?v=y0IGSmOWyAs>

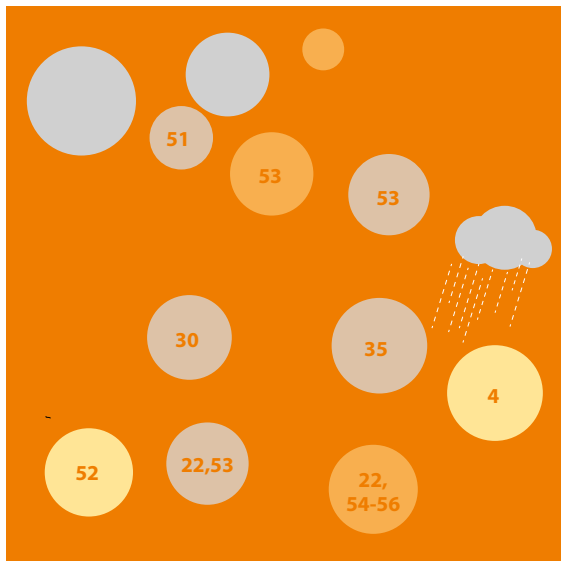
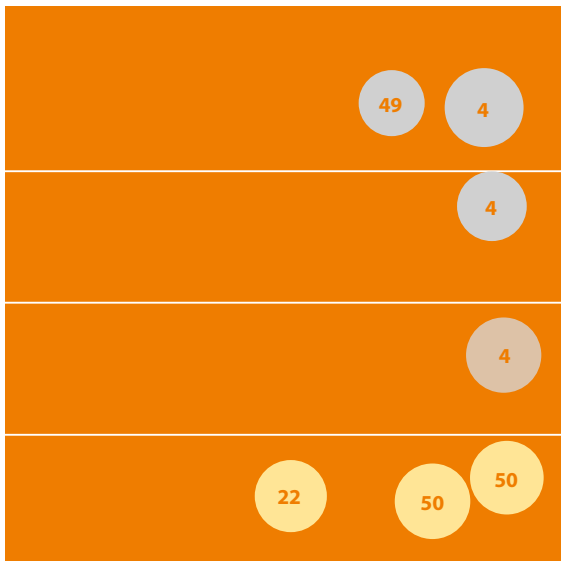
© CAFREtv

Список использованной литературы

- United Nations Environment Programme (2014). *UNEP Year Book 2014*. Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9240>
- Duce, R.A., LaRoche, J., Altieri, K., Arrigo, K.R., Baker, A.R., Capone, D.G. *et al.* (2008). Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean. *Science* 320, 893–897. <https://doi.org/10.1126/science.1150369>
- Voss, M., Bange, H.W., Dippner, J.W., Middelburg, J.J., Montoya, J.P. and Ward, B. (2013). The marine nitrogen cycle: recent discoveries, uncertainties and the potential relevance of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368, 20130121–20130121. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0121>
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Erismann, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P. van Grinsven, H. and Grizzetti, B. (eds.) (2011). *The European Nitrogen Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <http://www.nine-esf.org/node/360/ENA-Book.html>
- Pearce, F. (2018). Can the world find solutions to the nitrogen pollution crisis? *Yale Environment* 360, 6 February. <http://e360.yale.edu/features/can-the-world-find-solutions-to-the-nitrogen-pollution-crisis>
- Liu, X., Zhang, Y., Han, W., Tang, A., Shen, J., Cui, Z. *et al.* (2013). Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature* 494, 459–462. <http://dx.doi.org/10.1038/nature11917>
- Fowler, D., Steadman, C.E., Stevenson, D., Coyle, M. Rees, R.M. Skiba, U.M. *et al.* (2015). Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 13849–13893. <https://doi.org/10.5194/acp-15-13849-2015>
- Lelieveld, J., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D. and Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525, 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
- United Nations Environment Programme (2013). *Drawing Down N₂O to Protect Climate and the Ozone Layer: A UNEP Synthesis Report*. Alcamo, J., Leonard, S.A., Ravishankara, A.R. and Sutton, M.A. (eds.) Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8489>
- Suddick, E.C., Whitney, P., Townsend, A.R. and Davidson, E.A. (2012). The role of nitrogen in climate change and the impacts of nitrogen–climate interactions in the United States: foreword to thematic issue. *Biogeochemistry* 114, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9795-z>
- Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C.M., Bekunda, M., Grizzetti, B., de Vries, W. *et al.* (2013). Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution. Edinburgh, UK: NERC/Centre for Ecology & Hydrology. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/500700/>
- Abrol, Y.P., Adhya, T.K., Aneja, V.P., Raghuram, N., Pathak, H., Kulshrestha, U., Sharma, C. and Singh, B. (eds.) (2017). *The Indian Nitrogen Assessment: Sources of Reactive Nitrogen, Environmental and Climate Effects, Management Options, and Policies*. UK: Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128118368/the-indian-nitrogen-assessment>
- Van Grinsven, H.J.M., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., Sutton, M.A. and Willems, W.J. (2013). Costs and benefits of nitrogen for Europe and implications for mitigation. *Environmental Science & Technology* 47, 3571–3579. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es303804g>
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2018). *Human Acceleration of the Nitrogen Cycle: Managing Risk and Uncertainty*. Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264307438-en>
- Brunekreef, B., Harrison, R.M., Künzli, N., Querol, X., Sutton, M.A., Heederik, D.J.J. *et al.* (2015) Reducing the health effect of particles from agriculture. *Lancet Respiratory Medicine* 3(11), 831–832. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00413-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00413-0)
- Westhoek, H., Lesschen, J.P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D. *et al.* (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change* 26, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>
- Westhoek, H., Lesschen, J.P., Rood, T., Leip, A., Wagner, S., De Marco, A. *et al.* (2015). *Nitrogen on the Table: The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment*. European Nitrogen Assessment Special Report on Nitrogen and Food. UK: Centre for Ecology & Hydrology. https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/Nitrogen_on_the_Table_Report_WEB.pdf
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.J., Lassaletta, L. *et al.* (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Brownlie W.J., Howard, C.M., Pasda, G., Nave, B., Zerulla, W. and Sutton, M.A. (2015). Developing a global perspective on improving agricultural nitrogen use. *Environmental Development* 15, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.05.002>
- EU Nitrogen Expert Panel (2015). *Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in food systems*. Wageningen, NL: Wageningen University. <http://www.eunep.com/wp-content/uploads/2017/03/N-ExpertPanel-NUE-Session-1.pdf>
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Brownlie, W.J., Skiba, U., Hicks, K.W., Winiwarter, W. *et al.* (2017). The European Nitrogen Assessment 6 years after: What was the outcome and what are the future research challenges? In *Innovative Solutions for Sustainable Management of Nitrogen*. Dalgaard, T. *et al.* (eds). Aarhus, Denmark, 25–28 June. Aarhus, DK: Aarhus University and the dNmark Research Alliance. http://sustainableconference.dnmark.org/wp-content/uploads/2017/06/JYC_Final_Book-of-abstracts160617.pdf
- Reis, S., Bekunda, M. Howard, C.M., Karanja, N. Winiwarter, W., Yan, X. *et al.* (2016). Synthesis and review: Tackling the nitrogen management challenge: from global to local scales. *Environmental Research Letters* 11, 120205. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/12/120205/meta>
- Umweltbundesamt (2015). *Reactive Nitrogen in Germany: Causes and effects - measures and recommendations*. Dessau-Roßlau: The German Environment Agency (Umweltbundesamt). <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/reactive-nitrogen-in-germany>

24. Tomich T.P., Brodt, S.B., Dahlgren, R.A. and Scow, K.M. (eds.) (2016). Davis, CA: University of California Press. <http://asi.ucdavis.edu/programs/sarep/research-initiatives/are/nutrient-mgmt/california-nitrogen-assessment>
25. Galloway J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R. et al. (2008). Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions and Potential Solutions. *Science* 320, 889-892. <https://doi.org/10.1126/science.1136674>
26. Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. and Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* 1, 636-639. <https://doi.org/10.1038/ngeo325>
27. Davidson, E.A., Davidson, M.B., David, J.N., Galloway, C.L., Goodale, R., Haeuber, J.A. . (2012). Excess nitrogen in the U.S. environment: trends, risks, and solutions. 15. The Ecological Society of America, Washington. <http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/issuesinecology15.pdf>
28. Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M.A., Cape, J.N., Reis, S. (2013). The global nitrogen cycle of the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B*. 368, 2130164. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>
29. Bleeker, A., Sutton, M., Winiwarter, W. and Leip, A. (2013) *Economy Wide Nitrogen Balances and Indicators: Concept and Methodology*. OECD, Environment Directorate, Environment Policy Committee, Working Party on Environmental Information, Paris, France ENV/EPOC/WPEI(2012)4/REV1. Paris. <http://inms.iwlearn.org/inms-meeting-lisbon/NBalancesandIndicators.pdf>
30. Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. and Winiwarter, W. (2011). Too much of a good thing. *Nature* 472, 159-161. <https://doi.org/10.1038/472159a>
31. Masso, C., Baijukya, F., Ebanyat, P., Bouaziz, S., Wendt, J., Bekunda, M. et al. (2017). Dilemma of nitrogen management for future food security in sub-Saharan Africa – a review. *Soil Research* 55(6), 425-434. <https://doi.org/10.1071/SR16332>
32. United Nations Statistic Division (2018). *Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York. A/RES/71/313 E/CN.3/2018/2. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
33. Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P. and Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528, 51-59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>
34. Sutton, M.A., Reis, S., Riddick, S.N., Dragosits, U., Nemitz, E., Theobald, M.R. et al. (2013). Toward a climate-dependent paradigm of ammonia emission & deposition. *Phil. Trans. Roy. Soc. (Ser. B)* 368, 20130166. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0166>
35. Van Grinsven, H.J., Tiktak, A. and Rougoor, C.W. (2016). Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 78, 69-84. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.010>
36. Bittman, S., Dedina, M., Howard C.M., Oenema, O. and Sutton, M.A. (eds.) (2014). Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/510206/1/N510206CR.pdf>
37. Gu, B.J., Ju, X.T., Chang, J., Ge, Y. and Vitousek, P.M. (2015). Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China. 112, 8792-8797. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510211112>
38. Ju, X.T., Gu, B.J., Wu, Y.Y. and Galloway, J.N. (2016). Reducing China's fertilizer use by increasing farm size. 41, 26-32. <https://doi.org/10.1073/pnas.1806645115>
39. Mangano E., Kahr, J., Wright, P.A. and Brandani, S. (2016). Accelerated degradation of MOFs under flue gas conditions. *Faraday Discussions*, 192. <https://doi.org/10.1039/C6FD00045B>
40. Food and Agriculture Organization (2016). Zero Budget Natural Farming in India. *Agroecology Knowledge Hub Trends in Biosciences Circular Economy Package: Questions & Answers*. 2 December. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_en.htm Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>.
41. Bishnoi, R. and Bhati, A. (2017) An Overview : Zero Budget Natural Farming. *Trends in Biosciences* 10(46), 9314-9316
42. European Commission (2015). Circular Economy Package: Questions & Answers. 2 December. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_en.htm
43. European Commission (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2015) 614 final. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>
44. Sachverständigenrat für Umweltfragen (2015). *Nitrogen: Strategies for resolving an urgent environmental problem - Summary*. Berlin. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/EN/02_Special_Reports/2012_2016/2015_01_Nitrogen_Strategies_summary.html
45. Austin, A.T., Bustamante, M.M.C., Nardoto, G.B., Mitre, S.K., Perez, T., Ometto, J.P.H.B. et al. (2013). Latin America's Nitrogen Challenge. *Science* 340, 149. <https://doi.org/10.1126/science.1231679>
46. United Nations Environment Programme (2018). *Resolutions and Decisions: UNEA 2*. Nairobi. <http://web.unep.org/environmentassembly/resolutions-and-decisions-unea-2>
47. United Nations Environment Programme (2018). *Documents: Third session of the UN Environment Assembly*. Nairobi. <http://web.unep.org/environmentassembly/node/40741>
48. Sutton, M. (2018). The global nitrogen challenge: a case of too much and too little nutrients. A presentation to the Committee of Permanent Representatives to the United Nations Environment Programme, 24 October 2018. <http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26379/Sutton%20Global%20Nitrogen%20Challenge%20%28UNEP%20CPR%20Oct%202018%29.pdf?sequence=24&isAllowed=y>

Список использованных графических материалов



49. Zhang, R., Tie, X. and Bond, D.W. (2002). Impacts of anthropogenic and natural NOx sources over the U.S. on tropospheric chemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(4), 1505-1509. <https://doi.org/10.1073/pnas.252763799>
50. FAO (2011). *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>
51. Ussiri D., Lal R. (2013) *Global Sources of Nitrous Oxide*. In: *Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5364-8_5
52. IFA (2018). *International Fertilizer Association database (IFASTAT)*. International Fertilizer Association, Paris. <https://www.ifastat.org/>
53. Behera, S.N., Sharma, M., Aneja, V.P. and Balasubramanian, R. (2013). Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 8092-8131. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9>
54. Field, C.D., Dise, N.B., Payne, R.J., Britton, A.J., Emmett, B.A., Helliwell, R.C., Hughes, S, et al. 2014. The Role of Nitrogen Deposition in Widespread Plant Community Change Across Semi-natural Habitats. *Ecosystems*, 17, 864-877. <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9765-5>
55. Payne, R. J., N. B. Dise, C. J. Stevens, D. J. Gowing, and Begin Partners. 2013. 'Impact of Nitrogen Deposition at the Species Level'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3): 984–87. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214299109>
56. Sheppard, L. J., Leith, I. D., Mizunuma, T., Cape, N., Crossley, A., Leeson, S., Sutton, M.A., Dijk, N. and Fowler, D. (2011). Dry deposition of ammonia gas drives species change faster than wet deposition of ammonium ions: evidence from a long-term field manipulation'. *Global Change Biology*, 17: 3589-3607. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02478.x>