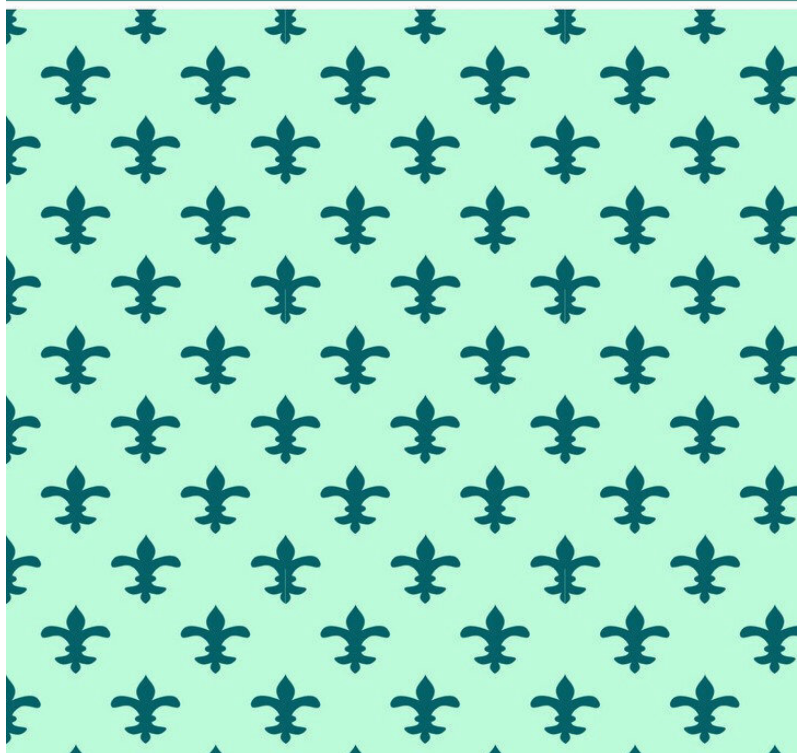


18+

АЛЕКСАНДР СИМОНОВ

Прокормить мир



Александр Симонов

Прокормить мир

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=73873921

ISBN 9785006989856

Аннотация

Процесс Габера-Боша позволил «связывать» атмосферный азот, по сути, превратив воздух в хлеб. Капельное орошение научило выращивать урожай в пустыне, сократив потери воды до минимума. Селекция Борлоуга и редактирование генома создали растения, дающие втрое больше зерна на том же поле.

В этой книге я коротко хочу рассказать об этом. И показать цену изобилия: мёртвые зоны в океанах от удобрений, истощение водоносных горизонтов, зависимость от корпоративных семян.

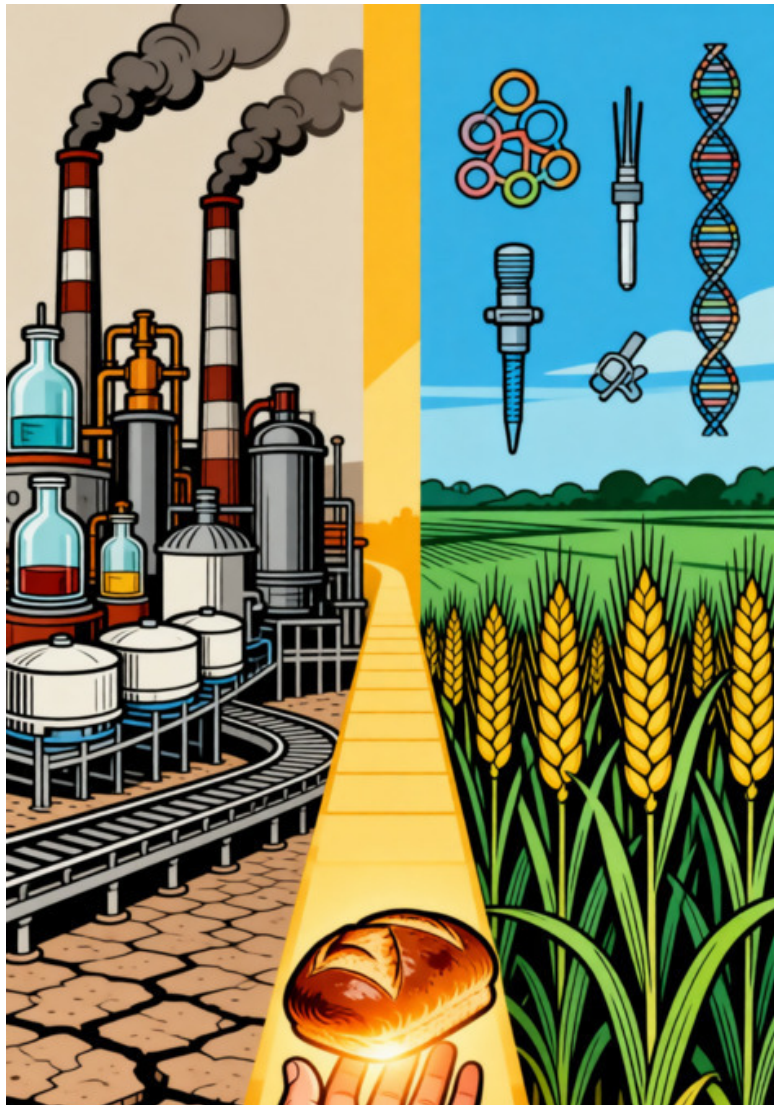
Прокормить мир

Александр Симонов

© Александр Симонов, 2026

ISBN 978-5-0069-8985-6

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero



Прокормить мир. Цена завтрака.

Как химия аммиака, капли воды и редактирование генов позволили человечеству впервые в истории победить голод и почему эта победа оказывается хрупкой перед лицом климата и истощения почв.

Численность населения Земли на сегодняшний день превысила восемь миллиардов. Это не катастрофа, как считают многие. Это триумф. Впервые в истории человечество производит достаточно еды, чтобы накормить каждого. Но этот триумф не случаен: он стал возможен благодаря трём технологическим прорывам, изменившим природу сельского хозяйства.

Процесс Габера-Боша позволил «связывать» атмосферный азот, по сути, превратив воздух в хлеб. Капельное орошение научило выращивать урожай в пустыне, сократив потери воды до минимума. Селекция Борлоуга и редактирование генома создали растения, дающие втрое больше зерна на том же поле.

В этой книге я коротко хочу рассказать об истории этих прорывов. От лабораторных открытий до полей Пенджаба, прерий США и пустыни Негев. И при этом честно показать

цену изобилия: мёртвые зоны в океанах от удобрений, истощение водоносных горизонтов, зависимость от корпоративных семян.

Это не анти-технологический манифест и не слепая апологетика прогресса. Это призыв к зрелости: использовать технологии разумно, сочетая мощь химии и генетики с мудростью регенеративного земледелия. Потому что доступная еда для десяти миллиардов к 2050 году потребует не новых революций, а гармонии между ними.

1: Удобрения – химия жизни

1.1. От навоза к аммиаку: путь длиной в десять тысячелетий

Когда десять тысяч лет назад человек впервые перешёл от собирательства к земледелию в плодородных долинах Тигра и Евфрата, он столкнулся с фундаментальной проблемой: почва быстро истощалась. Первые земледельцы интуитивно поняли, что для поддержания урожайности необходимо возвращать земле то, что она отдаёт. Так родилась первая агротехника – внесение органических удобрений.

Навоз домашних животных стал первым «технологическим прорывом» в истории сельского хозяйства. Археологи-

ческие находки в поселениях неолита показывают специальные загоны для скота, расположенные рядом с полями. Значит, уже тогда люди оптимизировали логистику питательных веществ. В Древнем Египте после разлива Нила оставшаяся илистая почва служила естественным удобрением, обогащённым минералами из эфиопских нагорий. Китайские земледельцы эпохи династии Хань (206 г. до н.э. – 220 г. н.э.) разработали сложные системы компостирования, смешивая растительные остатки, золу и человеческие экскременты. И эта практика сохранилась в некоторых регионах Азии до середины XX века.

Средневековая Европа столкнулась с системным кризисом плодородия. Трёхпольная система (озимые – яровые – пар) позволяла лишь частично восстанавливать почву, но не решала проблему дефицита азота. К XVIII веку урожайность зерновых в Англии составляла всего 8—10 центнеров с гектара, то есть втрое меньше современных показателей. Агрономы тех лет, часто выражали разочарование в своих заметках: «Почва истощена до такой степени, что даже после трёхлетнего пара рожь едва пробивается сквозь землю».

Переломный момент наступил с открытием минеральных удобрений. В 1840 году немецкий химик Юстус фон Либих опубликовал революционный труд «Органическая хи-

мия в её применении к сельскому хозяйству и физиологии», в котором сформулировал закон минимума: рост растения ограничивается тем питательным элементом, который находится в наибольшем дефиците. Либих доказал, что ключевыми элементами являются азот (N), фосфор (P) и калий (K). Эта формула NPK легла в основу современной агрономии.

Первые промышленные удобрения были фосфорными. Началось производство «костной муки» – фосфатной добавки, полученную обработкой костей серной кислотой. К 1850-м годам в Англии и Германии начали разрабатываться месторождения фосфоритов. Калийные удобрения появились после открытия залежей калийных солей в Германии.

Но главная проблема оставалась нерешённой: источники азота. Чилийская селитра (натриевая селитра), добывавшаяся в пустыне Атакама, стала первым промышленным азотным удобрением. К 1900 году Чили поставляла 70% мирового азота, но запасы истощались, а спрос рос вместе с населением планеты. В 1909 году немецкий химик Фриц Габер совершил прорыв, изменивший судьбу человечества.

1.2. Революция Габера-Боша: как связать атмосферный азот

В начале XX века перед человечеством маячила призрак

голода. Население планеты росло экспоненциально, а урожайность сельскохозяйственных культур упиралась в естественный предел содержания азота в почве. Азот составляет 78% атмосферы, но растения не могут использовать его в газообразной форме N_2 . Им необходим «связанный» азот – в виде нитратов или аммония. До промышленной революции источниками связанного азота были: органические удобрения (навоз, компост), сидераты (клевер, люпин), природные месторождения селитры (в Чили) и атмосферные осадки (молнии фиксируют небольшое количество азота).

К 1900 году стало ясно: запасы чилийской селитры иссякают, а органических удобрений недостаточно для растущего населения. Германский химик Фриц Габер поставил перед собой амбициозную задачу: научиться искусственно связывать атмосферный азот. В 1909 году в лаборатории в Карлсруэ он продемонстрировал возможность синтеза аммиака из азота и водорода при высоком давлении (150—200 атмосфер) и температуре (400—500° C) в присутствии железного катализатора. Инженер Карл Бош масштабировал этот процесс до промышленных масштабов и в 1913 году на заводе BASF в Оппау началась первая в мире промышленная установка по производству аммиака по технологии, получившей название «процесс Габера-Боша».

Ирония истории: первоначально аммиак предназначался

не для удобрений, а для производства взрывчатых веществ во время Первой мировой войны. Лишь после войны избытки аммиачной селитры были перенаправлены в сельское хозяйство. К 1930-м годам стало очевидно: процесс Габера-Боша изменил правила игры. Урожайность зерновых культур в Европе и Северной Америке выросла на 30—50% за десятилетие.

Сегодня процесс Габера-Боша производит более 150 миллионов тонн аммиака ежегодно. Около 80% идёт на удобрения. По оценкам учёных, до половины населения планеты питается благодаря азоту, зафиксированному этим процессом. Многие ученые называют процесс Габера-Боша самым важным изобретением XX века. Без него невозможно было бы прокормить даже половину нынешнего населения Земли.

Технология продолжала совершенствоваться. В 1960-х годах появились гранулированные комплексные удобрения, позволяющие точно дозировать NPK-состав под конкретную культуру и тип почвы. В 1970-х добились контролируемого высвобождения удобрения (капсулированные гранулы, растворяющиеся постепенно). К концу XX века глобальное производство минеральных удобрений достигло 180 миллионов тонн в год, обеспечивая основу для «зелёной революции» в Азии и Латинской Америке.

1.3. Цена изобилия: экологические издержки и пути их снижения

Триумф азотных удобрений омрачён серьёзными экологическими последствиями. Глобальный цикл азота, сформировавшийся за миллионы лет эволюции, был нарушен человеком за одно столетие. Если до промышленной революции естественная фиксация азота (через бобовые культуры и атмосферные явления) составляла около 100—150 миллионов тонн в год, то сегодня антропогенная фиксация превышает 200 миллионов тонн и всё это, преимущественно, за счёт процесса Габера-Боша.

Первая и наиболее очевидная проблема: эвтрофикация водоёмов. Избыточные нитраты и фосфаты вымываются с полей в реки и озёра, вызывая бурный рост водорослей. Когда водоросли отмирают, их разложение потребляет кислород, создавая «мёртвые зоны», такие участки водоёмов, где невозможна жизнь рыб и беспозвоночных. Крупнейшая мёртвая зона в мире образовалась в Мексиканском заливе у побережья Луизианы. Её площадь достигает 22 000 км². Она формируется из-за вымывания удобрений с сельскохозяйственных земель бассейна реки Миссисипи.

Вторая угроза – загрязнение питьевой воды. Нитраты лег-

ко проникают в грунтовые воды. В Европейском союзе более 20% скважин в сельских районах содержат нитраты выше допустимого уровня (50 мг/л). Для младенцев это особенно опасно: нитраты вызывают «синдром синего младенца» (метгемоглобинемия), при котором кровь теряет способность переносить кислород.

Третья проблема заключается в парниковых газах. Производство аммиака потребляет 1—2% всей энергии, производимой человечеством, и генерирует около 1,4% глобальных выбросов CO_2 (водород получают преимущественно из природного газа методом паровой конверсии). Ещё опаснее закись азота (N_2O), образующаяся при неполном усвоении удобрений растениями и микробной трансформации в почве. N_2O является парниковым газом, в 265 раз более мощным, чем CO_2 по потенциалу глобального потепления, и разрушает озоновый слой. Сельское хозяйство отвечает за 40% антропогенных выбросов N_2O .

Четвёртая угроза кроется в деградации почв. Избыточное внесение минеральных удобрений нарушает микробиологический баланс почвы, снижает содержание гумуса и ухудшает структуру. В Китае, где нормы внесения азота в 2—3 раза превышают рекомендуемые, урожайность риса перестала расти с 1990-х годов, несмотря на увеличение доз удобрений. Почвы достигли точки насыщения.

Люди напряженно ищут пути снижения издержек:

1. Повышение эффективности использования азота (NUE). В развитых странах NUE составляет 50—60% (из внесённого азота в урожай попадает 50—60%), в развивающихся – часто ниже 30%. Технологии точного земледелия позволяют повысить NUE до 70—80%.

2. Ингибиторы нитрификации. Добавки вроде нитропирина замедляют превращение аммония в нитраты, снижая вымывание и выбросы N_2O на 30—50%.

3. Оптимизация сроков внесения. Разделение дозы удобрений на несколько внесений в фазы максимального потребления растениями (вместо однократного весеннего внесения) снижает потери на 20—40%.

4. Буферные зоны. Посев многолетних трав по краям полей задерживает до 80% вымываемых нитратов.

5. Замкнутые циклы. В Нидерландах и Дании внедрены системы, где навоз животноводческих ферм перерабатывается в стандартизированные органические удобрения для растениеводства, снижая зависимость от минеральных азотных удобрений.

1.4. Будущее удобрений: точное земледелие, биоудобрения, замкнутые циклы

Будущее удобрений лежит не в увеличении объёмов, а в повышении точности и устойчивости. Три направления определяют технологическую траекторию:

Точное земледелие (precision agriculture) уже сегодня трансформирует подход к внесению удобрений. Спутниковые системы навигации позволяют тракторам двигаться по полю с точностью до 2 см, избегая повторного прохода и пропусков. Датчики оптической плотности растений (например, системы GreenSeeker) в реальном времени анализируют цвет и биомассу посевов, рассчитывая потребность в азоте для каждого квадратного метра. Автоматические распределители изменяют дозу удобрений каждые 10 метров пути. В Австралии фермеры используют дроны с мультиспектральными камерами для создания карт азотного статуса полей и внесение удобрений происходит только там, где это необходимо. Экономия достигает 20—30% при одновременном росте урожайности на 5—10%.

Биологические удобрения переживают ренессанс. Клубеньковые бактерии (*Rhizobium*), фиксирующие азот на корнях бобовых, используются тысячелетиями, но современная

Биотехнология создаёт новые возможности. Компания Pivot Bio (США) разработала живые микробные препараты, которые колонизируют корни кукурузы и пшеницы. То есть, культур, традиционно не способных к симбиотической фиксации азота. В полевых испытаниях такие препараты заменяют до 25 кг азота на гектар. Российские учёные создали штаммы азотфиксирующих бактерий для картофеля, повышающие урожайность на 15% без дополнительного азота. Начинает развиваться перспективное направление в использовании микоризных грибов, расширяющих корневую систему растений и улучшающие усвоение фосфора.

Замкнутые циклы и рециклинг становятся стратегической необходимостью, особенно для фосфора. А фосфор является невозполнимым ресурсом. Мировые запасы фосфоритов сосредоточены в трёх странах: Марокко (70%), Китай и США. По оценкам геологов, при текущих темпах добычи экономически доступные запасы истощатся за 50—100 лет. Решение ищется в возврате фосфора из отходов в сельское хозяйство. Швеция и Германия внедряют технологии извлечения фосфора из осадков сточных вод. Полученный продукт (стронгианит) соответствует стандартам минеральных удобрений. В Японии разработаны туалеты, разделяющие мочу и кал: моча, богатая азотом и фосфором, после стерилизации используется как жидкое удобрение. Голландские свиноводческие комплексы перерабатывают навоз в гранулы

с контролируемым высвобождением питательных веществ, снижая запах и потери азота.

«Зелёный аммиак» разрабатывается, как ключ к декарбонизации производства удобрений. Традиционный процесс Габера-Боша использует водород из природного газа. Альтернатива предлагает использовать водород из электролиза воды на возобновляемой энергии (солнечной, ветровой). В 2023 году в Саудовской Аравии запущен пилотный завод по производству «зелёного аммиака» мощностью 1,2 млн тонн в год. Стоимость пока на 30—50% выше традиционного, но с падением цен на ВИЭ и введением углеродного налога «зелёный аммиак» станет конкурентоспособным к 2035 году.

1.5. Цифры, которые кормят мир: статистика влияния удобрений на урожайность

Цифры говорят убедительнее риторики. С 1961 по 2023 год мировое производство зерна выросло с 877 млн до 2 850 млн тонн. Практически, втрое. При этом площадь пашни увеличилась всего на 15%. Главный драйвер роста здесь заключается в повышении урожайности, и удобрения обеспечили 40—60% этого прироста.

Конкретные данные по культурам:

Пшеница: глобальная урожайность выросла с 1,1 т/га (1961) до 3,5 т/га (2023). В Индии, где в 1960-х применялись сорта Борлоуга с интенсивным удобрением, урожайность пшеницы увеличилась с 0,8 до 3,7 т/га. Значит, рост на 360%.

Рис: в Китае урожайность выросла с 1,9 т/га (1961) до 7,0 т/га (2023). Ключевым фактором стало внесение азота в дозах 150—200 кг/га при традиционных 30—50 кг/га.

Кукуруза: в США урожайность достигла 11 т/га против 2 т/га в 1930-х. Экономисты подсчитали, что каждый доллар, вложенный в удобрения, даёт возврат в виде урожая на \$5—8.

Глобальная статистика использования:

В 2023 году мировое потребление азотных удобрений составило 115 млн тонн, фосфорных – 48 млн тонн, калийных – 38 млн тонн.

Лидеры по потреблению на гектар: Китай (500 кг/га NPK), Индия (150 кг/га), Бразилия (130 кг/га). Для сравнения: в Африке к югу от Сахары используется менее 20 кг/га, что объясняет низкую урожайность (1—1,5 т/га зерновых).

Парадокс эффективности: в Западной Европе и Северной Америке урожайность продолжает расти при стабильном или снижающемся потреблении удобрений благодаря технологиям точного внесения. В Китае и Индии дальнейший рост урожайности требует не увеличения доз, а их оп-

тимизации. Так, как уже сейчас 30—40% внесённого азота теряется.

Социально-экономический эффект:

По оценкам Международного института исследований продовольственной политики (IFPRI), отказ от минеральных удобрений привёл бы к падению мировой урожайности на 40—60%, а цены на продовольствие выросли бы в 2—3 раза.

В Африке к югу от Сахары увеличение потребления удобрений до 50 кг/га (минимальный уровень для экономической эффективности) могло бы вывести из бедности 50 млн человек за счёт роста доходов фермеров и снижения цен на продовольствие.

Программа субсидирования удобрений в Малави (2005—2010) привела к удвоению урожайности кукурузы и превращению страны из импортёра в экспортёра зерна. Это один из немногих успешных кейсов государственной аграрной политики в Африке.

ИНФОБОКС 1: Азот, который кормит мир

Показатель	Значение	Комментарий
150 млн тонн	Ежегодное производство аммиака по процессу Габера-Боша	80% идёт на удобрения, 20% - на промышленность и взрывчатые вещества
3-4 млрд человек	Число людей, чьё питание напрямую зависит от синтетических азотных удобрений	до 50% азота в белках человеческого тела происходит из промышленной фиксации
1-2%	Доля мирового энергопотребления, используемая для производства аммиака	Эквивалентно энергии 100+ атомных электростанций
1,4%	Вклад производства аммиака в глобальные выбросы CO ₂	Основной источник - паровая конверсия метана для получения водорода
30-50%	Эффективность использования азота (NUE) в развивающихся странах	В развитых странах - 50-60%; потенциал повышения до 70-80% за счёт точного земледелия

ИНФОБОКС 2: Экологический след удобрений

Проблема	Масштаб	Последствия
Эвтрофикация	500+ «мёртвых зон» в мировых океанах и озёрах	Крупнейшая - в Мексиканском заливе (22 000 км ²). Ежегодные экономические потери — \$2,2 млрд (рыболовство, туризм)
Загрязнение воды	20% скважин ЕС превышают лимит нитратов (50 мг/л)	Риск метгемоглобинемии у младенцев; стоимость очистки питьевой воды - €500 млн/год в ЕС
Закись азота (N ₂ O)	Сельское хозяйство — 40% антропогенных выбросов N ₂ O	Потенциал глобального потепления в 265× выше CO ₂ ; вклад в изменение климата — 6% от всех парниковых газов
Деградация почв	33% сельхозугодий мира подвержены деградации	В Китае урожайность риса стагнирует с 1990-х при росте доз азота - признак истощения почв

ИНФОБОКС 3: Геополитика удобрений. Кто контролирует питание планеты?

Ресурс	Лидеры добычи (доля мировой)	Риски
Азот (аммиак)	Китай (28%), Россия (10%), США (9%)	Зависимость от природного газа; цены колеблются на 300% при газовых кризисах (как в 2022 г.)
Фосфор	Марокко и Западная Сахара (70%), Китай (13%)	Невосполнимый ресурс; экономически доступные запасы - на 50-100 лет при текущих темпах добычи
Калий	Канада (32%), Россия (19%), Беларусь (16%)	Геополитическая уязвимость: может вызывать рост цен на калий на 200%
Технологии	США, Нидерланды, Израиль (точное земледелие)	Цифровой разрыв: в Африке к югу от Сахары <5% ферм используют датчики и спутниковый мониторинг

Ключевой вывод: 85% мировых запасов фосфора контролирует одно государство (Марокко). Это создаёт стратегическую уязвимость, сравнимую с нефтяной зависимостью.

Глобальный азотный цикл:

Азотный цикл представляет собой сложную биогеохимическую систему, в которой ключевую роль играет атмосфера – основной резервуар азота на Земле. Атмосферный воздух на 78% состоит из молекулярного азота (N_2), химически инертной формы, недоступной для большинства живых ор-

ганизмов напрямую. Для включения в биологический круговорот азот должен быть «зафиксирован», то есть, преобразован в реакционноспособные соединения (аммиак, нитраты).

Два пути фиксации азота

Естественная фиксация (~150 млн тонн в год) осуществляется:

Почвенными бактериями (в том числе клубеньковыми, живущими в симбиозе с бобовыми растениями);

Цианобактериями в водных экосистемах;

Физическими процессами – молниями, при которых высокая температура способствует образованию оксидов азота.

Антропогенная фиксация (~210 млн тонн в год) превышает естественную и включает:

Промышленный синтез аммиака по процессу Габера—Боша (около 150 млн т) является основой минеральных азотных удобрений;

Сжигание ископаемого топлива в энергетике и транспорте (~30 млн т), приводящее к образованию оксидов азота;

Распространение сельскохозяйственных культур с высокой биомассой (~30 млн т).

Этот дисбаланс является одним из проявлений «антропоцена»: человек стал доминирующим агентом трансформации глобального азотного цикла.

Поступление в биосферу и почву

Зафиксированный азот поступает в почву и водные экосистемы в виде аммония (NH_4^+) и нитратов (NO_3^-), где включается

ется в органические соединения (белки, нуклеиновые кислоты) через усвоение растениями (~120 млн т/год). Часть азота входит в пищевую цепь человека (~60 млн т/год), а после прохождения через организмы возвращается в почву с органическими отходами и при разложении биомассы.

Три пути выхода из активного цикла

Денитрификация – анаэробные бактерии в почве и донных отложениях восстанавливают нитраты до молекулярного азота (N_2) или закиси азота (N_2O), возвращая их в атмосферу и замыкая цикл.

Потери в окружающую среду (незапланированные утечки):

Вымывание нитратов с поверхностным стоком в реки и озёра;

Волатилизация аммиака (NH_3) из удобрений и навоза в атмосферу;

Выбросы N_2O – мощного парникового газа при сельскохозяйственной деятельности и промышленных процессах.

Накопление в водных экосистемах – избыточный азот вызывает эвтрофикацию: бурный рост водорослей, истощение кислорода в воде и формирование «мёртвых зон», непригодных для большинства водных организмов.

Экологический дисбаланс

Превышение антропогенной фиксации над естественной на 40% привело к накоплению реакционноспособного азота в биосфере. Это проявляется в загрязнении водоёмов, уси-

лении парникового эффекта (через N_2O), снижении биоразнообразия и угрозе для продовольственной безопасности. Устойчивое управление азотом видится, как одна из ключевых задач экологической политики XXI века.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.