

DOI: 10.31509/2658-607x-202693-197

УДК 630*91: 630*181.351: 632.934.1: 632.937: 595.142.39: 591.23

РОЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БИОТЕХНОЛОГИЙ В ОБЕЗЛЕСЕНИИ АМАЗОНИИ: ПАРАДОКС ДЖЕВОНСА НА ПРАКТИКЕ

© 2026

А. Г. Викторов

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071 Москва, Ленинский просп., д. 33.*

E-mail: aleviktorov@ya.ru

Поступила в редакцию: 06.08.2026

После рецензирования: 07.09.2026

Принята к печати: 15.09.2026

Резкий рост населения Земли во второй половине XX века вызвал потребность в увеличении его «продовольственной базы». Вначале эта проблема успешно решалась за счет селекционных достижений «зеленой революции», но, когда этот потенциал был исчерпан, в конце прошлого века, названный вопрос нашел интенсивный и экстенсивный способ решения. Первый заключался в создании генно-модифицированных культур, а второй в расширении площади агроценозов за счет вырубки тропических лесов. В 2003 г. эти два пути слились воедино в Бразилии, где на месте вырубленных тропических лесов начала высеваться ГМ-соя. В соответствии с парадоксом Джевонса, увеличение эффективности использования земельного ресурса привело к усилению экономических стимулов расширения полей биотехнологических культур за счет уничтожения тропических экосистем.

Ключевые слова: Бразилия, Амазония, вырубка тропических лесов, генетически модифицированные соя, продовольственная безопасность, глобальный спрос на продукты питания

Современные прогнозы мирового спроса на продовольствие во многом основываются на предполагаемом увеличении населения Земли с 7.4 млрд

в 2020 г. до более чем 9.0 млрд человек в 2050 г. Однако все более важным источником увеличения потребности в продуктах питания становится рост спроса

на душу населения, вызванный соответствующим увеличением доходов. Поскольку доля расходов на продовольствие в общем объеме дохода уменьшается по мере его роста, увеличение мирового спроса на продукты питания будет больше, если доходы в развивающихся странах будут расти быстрее, чем в развитых странах. Такая тенденция «конвергенции доходов» установилась в 2010-е гг. Существует предположение, что в период с 2020 до 2050 гг. рост спроса на душу населения, будет более важным фактором, определяющим спрос на продовольствие, чем увеличение населения. Расчеты показывают, что в случае «конвергенции доходов» потребность в продовольствии к середине нынешнего века вырастет на 102% или на треть больше, чем без «конвергенции доходов» (на 78%) и будет оказывать повышающее давление на мировые цены продуктов питания, частично компенсируя базовую тенденцию к их снижению. С 2001 по 2018 гг. индекс цен на сельскохозяйственные культуры в среднем вырос на 40%, при том что цены на такие культуры, как кукуруза, пальмовое масло, рис и соя, выросли на 45–85% (Fukase, Martin, 2020), а по данным Министерства сельского хозяйства США в период с 2000 по 2025 гг. мировые цены

на сою выросли с 270 до 470 долларов США за тонну или на 70% (USDA, 2025). Повышение стоимости продовольствия неизбежно приводит к росту спроса и соответственно цен на сельскохозяйственные земли (Souza-Rodrigues, 2019).

В конце XX века наметилась тенденция увеличения посевных площадей главным образом за счет вырубки тропических лесов. Считается, что с 1990 по 2019 гг. их площадь сократилась на 17%, а из оставшегося 1071 млн га (на 2019 г.) около 10% деградировали (Vancutsem et al., 2021). Рыночные факторы, оказываются главными стимулами расширения агроценозов за счет тропических лесов. Было показано, что цены на первичные рыночные продукты основных сельскохозяйственных культур (бананы, какао, кокосы, кофе, кукуруза, масличная пальма, пшеница, рис, сахарный тростник, сорго, соя, табак, чай, хлопок, ячмень) положительно и значимо коррелируют (коэффициент корреляции от 0.82 до 0.98) с вырубкой лесов в тропиках (полосе Земли между Тропиком Рака на 23°26' с.ш. и Тропиком Козерога на 23°26' ю.ш.). Этот эффект наиболее выражен в местностях, во-первых, находящихся вблизи морских портов и тем самым открытых для международной торговли, во-вторых, наименее

освященных в ночное время (что говорит о бедности населения) и в-третьих, наиболее удаленных от столиц и соответственно испытывающих дефицит властного ресурса. В целом близость морских портов оказывает наиболее сильное влияние на вырубку лесов в тропиках. Это подтверждает мнение, что доступ землепользователей к международной торговле и участию в ней становится главным мотиватором вырубки лесов и превращения освобожденных земель в сельскохозяйственные угодья. Вклад роста международных цен на сельскохозяйственную продукцию в обезлесение был наиболее сильным в двух основных тропических лесных биомах: Амазонии и Юго-Восточной Азии. Увеличение на 10% спроса на продукты питания на мировом рынке приводило к увеличению вырубки лесов здесь на 7% (Berman et al., 2023). Эти данные подтверждают ранее полученные результаты, что в период 2004–2013 годов 56%-ное увеличение цен на сырьевые товары привело в среднем к ежегодной дополнительно вырубке 170 000 га² в Бразилии (Harding et al., 2021).

Цель настоящей статьи – описание истории освоения человеком тропических лесов бассейна реки Амазонки и выявление основных сельскохозяйственных

драйверов, приводящих к обезлесиванию этого региона.

ОСВОЕНИЕ ЧЕЛОВЕКОМ АМАЗОНИИ

Палеонтологические исследования показали, что люди появились в тропических лесах Амазонии примерно 13 000 лет назад (Roosevelt, 2014). Переход от собирательского образа жизни к земледелию большинством коренного населения произошел здесь примерно 4000 лет назад (Arroyo-Kalin, 2012). В доколумбовую эпоху Амазония была населена примерно двумя тысячами племен индейцев, которые одомашнили 83 эндемичных вида растений (маниока, какао, табак, ананас, ряд фруктовых деревьев и пальм) и кроме того, культивировали по меньшей мере пятьдесят видов сельскохозяйственных культур из Северной Америки (в том числе кукурузу). Концепция земледелия у коренных народов Южной Америки была принципиально иной, чем у европейцев. Они не практиковали подсечно-огневое земледелие, а превращали естественные тропические леса в антропогенные лесные ландшафты, в которых сочеталось интенсивное лесоводство (садоводство) с возделыванием корнеплодов и зерновых культур (Clement, 1999). Следствием этой масштабной хозяйственной

деятельности стали амазонские темные почвы (Amazonian dark earths (ADEs) или «Terra preta do índio»), возникшие в результате сжигания деревьев, мульчирования и компостирования отходов жизнедеятельности человека. Недавние оценки показывают, что, амазонские темные почвы, встречаются на площади около 150 тысяч км² или 3.2% амазонских лесов (McMichael et al., 2014). Судя по этим показателям, в Амазонии в 1492 г. жило около 10 млн индейцев. Следы больших поселений индейцев встречаются вдоль берегов крупных рек, меньшего размера — вдоль второстепенных, а совсем маленькие — между мелкими проточными водоемами (Levis et al., 2012; Denevan, 2014).

Колонизация Южной Америки европейцами, начавшаяся в 1492 г., сопровождалась порабощением и насильственным переселением индейцев, значительно сократившим численность коренного населения. До нашего времени дожили лишь около полутора сотен племен, сохранивших свой язык, культуру и традиционный образ жизни (Clement et al., 2015). С первой половины XVII века до начала XVIII века основными товарами, экспортировавшимися из Амазонии в Европу, были какао-бобы, масла и

специи, добывавшиеся из растений тропических лесов. Тысячи африканских рабов были привезены в регион для дополнения принудительного труда индейцев. В XIX веке Амазония стала основным поставщиком каучука для быстрорастущей промышленности в Соединенных Штатах Америки и Европе, что принесло региону огромные доходы. Вновь сотни тысячи людей были привезены сюда для удовлетворения потребности в рабочей силе. Эти «золотые» времена закончились в начале XX века, когда семена гевеи бразильской *Hevea brasiliensis* были вывезены в Юго-Восточную Азию, где их начали масштабно выращивать. После окончания каучукового бума в начале XX века Амазония надолго утратила свое международное экономическое значение. Оставшиеся в Амазонии люди были вынуждены искать новые способы выживания. Они сформировали так называемые традиционные общины (состоящие преимущественно из потомков индейцев и африканцев), которые в настоящее время рассеяны по берегам Амазонки и ее притоков и ведут небольшие фермерские хозяйства на месте вырубленных ими же участков леса. Масштабы и темпы вырубки определяются наличием рабочей силы и капитала. В среднем мел-

кий фермер в Амазонии очищает от леса около 1 га земли в год (Bunker, 1984; Pokorny, 2021).

Следует отметить, что после нелегальной вырубki тропического леса в Амазонии поля сельскохозяйственных культур устраиваются на этом месте не сразу. Происходит это по ряду причин. Из-за больших инвестиций, необходимых для внедрения «рекомендуемых» здесь систем земледелия, до легализации, земельный участок используется как пастбище. Вырубка тропического леса под пастбища, согласно бразильскому законодательству, считается «эффективным использованием» и становится первым шагом к получению права собственности на землю. Отчасти это отражает привлекательность скотоводства для амазонских фермеров: крупный рогатый скот – это высоколиквидная инвестиция, которую можно легко продать при необходимости. По всей Бразилии существуют большие провинциальные рынки говядины, на которые скот можно доставить своим ходом, и для чего не требуются дороги с твердым покрытием. Кроме того, скотоводство, не требуя больших трудозатрат, дает широкий спектр товаров (мясо, молоко, кожу и навоз) и при этом меньше подвержено ежегодным колебаниям погоды, нежели

земледелие. И наконец скотоводство традиционно считается престижным занятием в бразильском обществе (Kirby et al., 2006).

Ввиду дороговизны удобрений подсечно-огневое земледелие считается наиболее экономичным способом повышения плодородия почв для мелких фермеров в Амазонии. Участок, как правило, может поддерживать однолетние культуры без агрохимических мероприятий в течение 2–3 лет, после чего почвы истощаются, и расчищаются от леса новые участки. Старые поля остаются под паром или используются как пастбища. Периоды залеживания редко бывают достаточно долгими, чтобы позволить почвам полностью восстановиться, и поэтому подобная система земледелия не может считаться устойчивой и экономически целесообразной (Nepstad et al., 1999).

По биому Амазонии проходят границы Бразилии со всеми восемью другими амазонскими странами (Боливией, Венесуэлой, Гайаной, Колумбией, Перу, Суринамом, Эквадором и Французской Гвианой). Геополитическое положение данного бразильского региона, его размеры, низкая плотность населения, удаленность от центральных органов власти делали его многие годы (если не

века) стратегически уязвимым и экономически недоиспользуемым. Этой проблемой серьезно занялась Военная диктатура в Бразилии (Пятая Бразильская Республика), управлявшая страной с 1 апреля 1964 г. по 15 марта 1985 г. Военные первые начали системно развивать экономику Амазонии, что в последствии продолжили делать все демократически избранные Президенты Бразилии (Carvalho et al., 2002). Так в 1974 г. была запущена программа «Поламазония». Наибольшая часть ресурсов, затраченных в рамках этой программы, была направлена на освоение крупнейшего в мире месторождения железной руды Караджа и строительство гидроэлектростанции Тукуруи на реке Токантинс, обеспечивающей электроэнергией данное горнорудное предприятие (Pokorny, 2021). Однако со временем произошло осознание того, что решение проблемы стратегической уязвимости и экономического развития Амазонии может быть решено только на основе экспортно-ориентируемой отрасли экономики, обеспеченной развитой транспортной инфраструктуры. Такой отраслью стало масштабное выращивание сои. Хотя некоторое количество сои было востребовано в Бразилии в виде растительного масла, эти объемы могли бы легко пополниться

за счет соевых полей, существовавших с середины прошлого века. Расширение посевов сои с 70-х годов 20-го века стало происходить исключительно в качестве экспортной культуры вследствие сложившейся конъюнктуры мирового рынка. Выращивание сои требует значительных капиталовложений в технику, подготовку земли и химикаты, эта культура по своей сути является прерогативой богатых предпринимателей в сфере агробизнеса, а не бедных фермеров. Крайняя концентрация доходов связана с выращиванием сои везде, где она распространялась в Латинской Америке с 80-х гг. прошлого века (Kaimowitz et al., 1999).

Создание транспортной инфраструктуры для экспортно-ориентированной деятельности имеет как прямое, так и опосредованное действие. Последнее заключается в повышении доступности ранее не освоенных участков тропических лесов и появлении там поселений. Поскольку показатель плотности населения тесно связан с показателем обезлесения обе переменные были логарифмически преобразованы, и оказалось, что обезлесение в Амазонии, вызванное первыми 10 людьми, эквивалентно изменению, вызванному 11-100-м человеком, и изменению, вызванному 101-1000-м человеком и так далее. Таким

образом, первые поселенцы в регионе оказывают большее влияние на рост облесенных территорий, чем поселенцы, прибывшие позже. Эти данные лишний раз подчеркивают важность дорог в процессе обезлесивания — первым поселенцам сложно попасть в место, не имеющее транспортной инфраструктуры (Fearnside, 2002; Kirby et al., 2006).

РОСТ ПОСЕВОВ СОИ В БРАЗИЛИИ

Сою (*Glycine max* L.) первыми начали выращивать китайцы примерно 3000 лет назад в регионах с субтропическим и умеренным климатом на широтах между 30° и 40° сш. Впоследствии эта культура распространилось в другие страны с совершенно иными условиями окружающей среды, чем в центре происхождения. Это обстоятельство вынудило селекционеров разрабатывать сорта, адаптированные к новым местам выращивания. Масштабное возделывание сои, приведшее ее на видное место на мировом рынке агробизнеса, началось в первой половине 20-го века, когда выяснилось, что среди сельскохозяйственных культур она относится к числу самых высокобелковых (содержание белка в ее семенах составляет в среднем 38–42% и может достигать до 50% (Hymowitz, 2008).

В Бразилии первые посевы сои появились в 1882 г. Первоначально ее культивированием занимались японские иммигранты, для производства тофу и соусов. Соя в Бразилии долгое время оставалась маргинальной и экзотической культурой. В первой половине XX века она стала использоваться и как корм для домашних животных, главным образом свиней. В середине XX века из сои стали производить растительное масло и, хотя ее посевы увеличились, она по-прежнему занимала незначительное место в структуре сельскохозяйственного производства нескольких южных штатов (Парана, Риу-Гранди-ду-Суи, Сан-Паулу и Санта-Катарина), расположенных примерно на 30° ю.ш. (Júnior et al., 2017).

В начале 1970-х годов произошел ряд событий приведшие к росту цен на зерновые культуры и настоящему буму производства сои в Бразилии: «Никсоновский шок 1971 г.» (официальная девальвация доллара США), сильная засуха в Советском Союзе повлекшая за собой закупку зерна в США в 1972 г., мощное Эль-Ниньо в 1972-73 гг. приведшее к десятикратному сокращению вылова анчоусов у побережья Перу. К тому времени популяция анчоусов уже была истощена в результате длительного перелома и прек-

ращение на некоторое время коммерческого промысла привело к использованию сои в качестве заменителя рыбной муки в кормах для животных и аквакультур, используемых в Северной Америке и Европе. Кроме того, эмбарго США в июне 1973 г. на сою и соевый шрот из-за засухи подняли цены на сою и вынудило Японию и европейские страны рассматривать Бразилию как альтернативный источник этой культуры. Следствием Японско-Бразильской программы сотрудничества в области сельского хозяйства, начавшейся в 1974 г. при финансовой поддержке Японского агентства международного сотрудничества (JICA), стало быстрое расширение плантаций сои в бразильском штате Парана (Fearnside, 2001).

Мороз в южной Бразилии в 1975 г. привел к переходу от выращивания кофе к выращиванию сои, чему немало способствовала меньшая трудоемкость выращивания последней. Многие мелкие фермеры, в результате этого транзита разорившиеся, мигрировали в Амазонию, где они стали главными акторами одного из самых масштабных в истории компании вырубке тропической лесов, проходившей в 1980-е гг. Это миграционное движение, известное как «марш южан», стало ключевым моментом

в изменении сельскохозяйственной географии Бразилии. С одной стороны, на месте амазонских лесов начали возникать сельскохозяйственные угодья, а с другой – на юго-западе и юго-востоке Бразилии произошла консолидация земельных участков в крупные соевые фермы (Fearnside, 1986). Дальнейшее развитие соевого производства в Бразилии было стимулировано рядом внутренних политико-экономических целей: 1) экономия валютных резервов за счет импортозамещения растительных масел и переработанных продуктов питания; 2) увеличение валютных поступлений за счет роста экспорта соевого шрота и соевого масла; 3) улучшение рациона питания населения путем стимулирования увеличения производства птицы, откармливаемой соевым шротом; 4) стимулирование промышленного развития; 5) сдерживание роста цен на продукты питания; 6) освоение обширного и в то же время мало заселенного экологического региона тропической саванны Серрадо (штаты Баия, Гояс, Мараньян, Мату-Гросу, Мату-Гросу-ду-Суи, Минас-Жерайс, Токантинс и Федеральный округ, включающий в себя столицу страны — город Бразилиа. Важным подспорьем в продвижении этой культуры в саванну, стали разработка сортов, устойчивых

к низкому содержанию фосфора и высокому содержанию алюминия в почве, а также получение эффективного азот-фиксирующего симбиоза с бактерий *Rhizobium sp.*, что позволило выращивать сою без применения азотных удобрений (Spehar, 1995). Продвижение сои в тропические (низкоширотные регионы) также стало возможным благодаря трудам селекционеров. Более короткий световой день в тропиках сокращает стадию вегетационного периода и вызывает раннее цветение сои, что приводит к значительному снижению продуктивности (Hartwig, Kiihl, 1979). В связи с этим на основе генетической изменчивости фотопериодической реакции были выведены сорта, дающие хороший урожай в условиях тропического светового дня (Spehar, 1995; Júnior et al., 2017; Milioli et al., 2022). Впоследствии на базе этих сортов компанией Монсанта была разработана линейка трансгенных сортов сои для Бразилии.

Глобальный рынок сои, который стимулировал, стимулирует и будет стимулировать распространение этой культуры, состоит из трех сегментов: соевого зерна, соевого масла и соевого шрота. Мировой урожай сои быстро рос в конце прошлого века, увеличиваясь на 10% в год в период с 1989 по 1998 гг. Китай,

который еще в 1993 году был экспортером сои, в конце прошлого века стал крупнейшим в мире импортером и зерна, и масла, и шрота (Fearnside, 2001). Новый импульс развития мировой рынок сои получил, когда на рынок в 1996 г. вышел трансгенный сорт Roundup-Ready™ с признаком устойчивости к гербициду глифосату (N-(фосфонометил)-глицином, C₃H₈N₀O₅P). Токсическое действие глифосата заключается в том, что он ингибирует у растений 5-еноилпирувил-шикимат-3-фосфатсинтазу (EPSPS). Этот фермент входит в состав шикиматного пути биосинтеза ароматических соединений, предшественников аминокислот тирозина, триптофана и фенилаланина. Технологический пакет этого ГМ-сорта обеспечивал и обеспечивает более высокие урожаи при снижении затрат на борьбу с сорняками. Следует отметить, что это дало Monsanto эффективную монополию на глифосат в процессе производства ГМ-соеи, увеличив цены как на гербицид, так и на трансгенные семена до максимального уровня, который рынок может выдерживать (Viktorov, 2016).

В сентябре 1998 года Национальная техническая комиссия Бразилии по биотехнологиям одобрила трансгенную сою Roundup-Ready™ для выращивания в стране, но бразильские общественные

организации добились судебного решения в июне 1999 года, требующего проведения оценки воздействия на окружающую среду этой биотехнологической культуры. До данного вердикта компания Monsanto рассчитывала, что к 2002 году 50% из 13 млн га соевых полей Бразилии будут засеяны трансгенным сортом (Fearnside, 2001). Однако первые посевы Roundup-Ready™ сои появились в Бразилии лишь в 2003 г. (James, 2004).

Дальнейшее развитие биотехнологии привело к созданию генетических конструкций, состоящих из двух и более состыкованных генов, кодирующих разные трансгенные признаки. Так в Бразилии в 2010 г. начал высеваться сорт ГМ-сои Intacta RR2 PRO® (MON87701xMON89788), обеспечивающий не только устойчивость к глифосату, но и к личинкам чешуекрылых, благодаря Cry1Ac-токсину, избирательно повреждающему их среднюю кишку. В 2018 г. появился сорт Xtend® содержащий химерный токсин Cry1A.105, а также токсины Cry2Ab2, Cry1Ac. Эти инсектицидные белки обеспечивают устойчивость к более широкому спектру вредителей. Кроме того, трансгенная конструкция этого сорта содержит гены устойчивости сразу к двум гербицидам глифосату и дикамбе, что связано с пос-

тоянно растущим числом сорняков устойчивых к глифосату. По этой же причине, в том же году, в Бразилии начал применяться сорт Enlist E3®, устойчивый сразу к трем гербицидам (глифосату, глюфосинату или фосфинотрицину и 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоте). Следует отметить, что сорта сои сочетающие признаки инсектицидности и гербицидоустойчивости начали впервые применяться в Бразилии (Araújo et al., 2026). Переход на трансгенную сою в Бразилии сделал выращивание сои более прибыльным и тем самым ускорил распространение этой культуры в Амазонии. При этом если в южных штатах размер соевых ферм варьирует в пределах 10-100 га, то в центральной Бразилии этот показатель варьирует в пределах 500-5000 га. (Neate, Guei, 2010).

Поскольку соевая промышленность с начала нынешнего тысячелетия выступает основным источником иностранной валюты для Бразилии, потребности соеводов использовались и используются для оправдания многих спорных проектов транспортной инфраструктуры, которые реализовались и реализуются в Амазонии. Федеральные программы «Бразилия в действии» (Brasil em Ação) в 1996–1999 гг. и «Вперед, Бразилия» (Avança Brasil) 2000–2003 гг.,

в значительной степени были направлены на создание в первом десятилетии нашего века транспортной экспортно-ориентированной инфраструктуры связывающей производителей сои с портами на Амазонке. При этом часть многомиллиардных инвестиций поступила из источников, аффилированных с транснациональной компанией Монсанто. В целом строительство без малого 10 000 км дорог с твердым покрытием, почти вдвое увеличило площадь лесных угодий, доступных к посещению по асфальтированным дорогам, и оказавшихся в пределах 50 км от 22 природоохранных зон и 89 земель коренных народов. Кроме того, эти дороги привели к масштабной фрагментации нетронутых территорий бассейна Амазонки (Fearnside, 2001). Потери природных территорий при выращивании сои значительно превышает, площади полей этой культуры, из-за масштабного развития инфраструктуры, необходимой для транспортировки посевного материала, агрохимикатов и собранного урожая. Пастбищное животноводство так же также занимает обширные территории, но его бенефициары не обладают политическим весом, необходимым для того, чтобы побудить правительство построить восемь промышленных водных

путей, три железные дороги и разветвленную сеть автомагистралей (Fearnside, 2001).

Анализ вырубок в Амазонии в 2000 – 2013 гг. показал, что основной причиной потери древесного покрова во всех типах лесов была их расчистка под пастбища (63% от общей площади потерь), за которой следовали мелкомасштабная вырубка лесов (12%), а также их расчистка под пахотные земли (9%), при этом естественные лесные массивы напрямую преобразовывались в пахотные земли чаще, чем первичные леса. Выяснилось также, что 60% площади тропических лесов, утраченной за 13 лет, приходится на штаты Пара и Мату-Гросу. Причем если в первом штате вырубки были преимущественно вызваны расширением пастбищ, то во втором увеличилось преобразование лесов в пахотные земли, что коррелирует с расширением посевов сои. Эти два штата также оказались основными источниками потерь первичных лесов (Tyukavina et al., 2017). В период с августа 2009 года по июль 2019 года соевые фермы в штате Мату-Гросу, крупнейшем бразильском производителе сои, вырубали 15% (или 468.1 тыс. га) лесов, на принадлежавших им участках. Половина этой рубки была незаконной (Carvalho et al., 2024). В целом с 2001

по 2019 гг. площади под сою в бразильской Амазонии увеличилась более чем в десять раз: с 0.4 млн га до 4.6 млн га, при этом 32% из добавленных 4.2 млн га сои были получены из первичных лесов, 17% – из вторичных лесов и 51% – из пастбищ, ранее расчищенных (Song et al., 2021).

Во многом вырубке тропических лесов способствовала формализация прав собственности на землю (Probst et al., 2020). Так в бразильской Амазонии с 2011 по 2016 гг. проводилась крупномасштабная программа оформления прав собственности на землю «Terra Legal», охватившая территорию размером в двенадцать с половиной млн га, что составляет более 2.5% бразильской Амазонии. Программа «Terra Legal» была разработана для снижения уровня конфликтов из-за земли и обеспечения более эффективного соблюдения экологических правил путем предоставления фермерам, обрабатывавшим более пяти лет участок государственной земли, на котором ранее был незаконно вырублен лес, юридического права собственности на него. При этом преференции предоставлялись малоимущим: мелкие фермеры с земельными участками меньше минимального размера устойчивого фермерского хозяйства получали

землю бесплатно, в то время как владельцы участков среднего размера платили сниженную цену; только владельцы крупных участков платили полную рыночную цену земли за право собственности. Вопреки ожиданиям, было обнаружено, что участвовавшие в программе мелкие и средние землевладельцы, увеличили незаконную вырубку лесов, тем самым расширяя свои участки, в то время как крупные землевладельцы этого практически не делали. Землевладельцы, имеющие права собственности на землю, вырубали леса сильнее по мере роста цен на сельскохозяйственные культуры и скот. Это показывает, что простое присвоение прав собственности на землю без координации с другими политическими и экономическими мерами по сохранению окружающей среды не приносит ожидаемых улучшений экологической ситуации как в Бразилии, так и в других тропических странах (Lipscomb, Prabakaran, 2020).

Реализация федеральной программы «Terra Legal» проходило во время действия Амазонского соевого моратория (АСМ) — добровольного многоотраслевого пакта, заключенного в 2006 г., в рамках которого торговцы соей согласились не финансировать посевы сои и не закупать ее зерна на землях

Амазонии, вырубленных после июля 2008 г. В начале нулевых годов расширение производства сои было основной причиной вырубки лесов в Амазонии, причем почти треть происходила путем прямого превращения лесов в соевые поля. Хотя первоначально мораторий задумывался как временная мера и продлевался посредством ряда краткосрочных соглашений, в 2016 г. все стороны согласились, что АСМ должна продолжаться бессрочно, пока не будут приняты адекватные нормативные акты управления тропическими лесами. После внедрения АСМ вырубка лесов для расширения производства сои сократилась почти до нуля, однако, как уже было сказано выше совсем не прекратилась. Соглашение стимулировало расширение посевов сои на обширной территории площадью порядка 15 млн га, которая была обезлесена до 2008 г. в Амазонии, что позволило увеличить площадь посевов сои в Амазонии более чем втрое без существенного прямого преобразования лесных массивов. Таким образом, АСМ сократила вырубку лесов на 35% (1.8 млн га) в районах, подверженных риску расширения выращивания сои, всего за первые 10 лет, включая районы за пределами ферм по выращиванию сои (Rausch et al., 2026). Несмотря на это бра-

зильский антимонопольный орган (Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE)) в июле 2025 г. признал это соглашение ограничивающим конкуренцию на рынке, а правительства ряда штатов ввели регуляторные санкции в отношении его участников. Все это привело к выходу крупных производителей сои из АСМ (de Oliveira et al., 2026).

В общей сложности десятки млн га лесов на пригодных для выращивания сои землях по всей Амазонии могут подвергаться большему риску вырубки без АСМ. Это 9.1 млн га лесов на частных землях, которые все еще могут быть законно вырублены в соответствии с Бразильским лесным кодексом, и до 28.7 млн га в государственных лесах без юридически оформленного защитного статуса, которые особенно уязвимы для незаконных манипуляций. Очевидно также, что незаконные вырубки увеличатся в бразильских заповедниках. Экспертные оценки предсказывают, что прекращение действия АСМ приведет к дополнительной вырубке лесов на 1.4 ± 0.67 млн га в течение следующего десятилетия, и увеличит тем самым выбросы эквивалента диоксида углерода на 745 ± 346 млн метрических тонн, что сопоставимо с ежегодными выбросами парниковых газов Канадой (Rausch et al., 2026).

Помимо кампании против АСМ, соевое лобби продвигает законопроект 2564/2025, ограничивающий использование космических снимков в экологическом надзоре. Реальность в Бразилии в настоящий момент такова, что только дистанционное зондирование Земли дает самую точную и оперативную информацию о лесах Амазонии. Законопроект предполагает запретить прямое использование спутниковых данных для обеспечения соблюдения экологических норм, требуя предварительного уведомления и проведения инспекций на местах Бразильским институтом окружающей среды и возобновляемых природных ресурсов (IBAMA). Кроме того, активно проталкиваются поправки в конституцию, отменяющие решения Верховного Суда Бразилии (STF), направленные на защиту права коренных народов на их исконные земли в Амазонии (Cianciaruso et al., 2026).

Кроме угрозы важнейшим экосистемным услугам, таким как сохранение биоразнообразия и водосборных бассейнов, регулирование климата, улавливание и хранение углерода (FAO, 2025), обеспечение жизнедеятельности коренного населения тропических стран, вырубка лесов

повышает риск вспышек зоонозных заболеваний из-за контактов между населением и домашними животными, с одной стороны, и ранее изолированными природными очагами, с другой (Sandler, 1993; Bowman, 2016). Недавние метагеномные анализы ДНК окружающей среды вдоль федеральной автомагистрали BR-319 прорубленной через тропические леса в самом центре Амазонии на протяжении 877 км, выявили ранее неизвестные микробные сообщества, обогащенные генами, устойчивости к антибиотикам, высокой вирулентности и патогенности. Следует отметить, что деградация окружающей среды, связанная с вырубкой лесов вдоль BR-319, увеличением транспортной нагрузки и движения людей нарушая среду обитания переносчиков и хозяев, способствуют распространение таких заболеваний, как малярия и лихорадка Оропуш. Так на среднем участке автомагистрали BR-319 было зафиксировано появление нового штамма вируса Оропуш. В 2026 г. была подтверждена его циркуляция в Центральной Америке и Европе. Все этого говорит о том, что рубка лесов Амазонии усиливает глобальные риски биобезопасности (Ferrante et al., 2026).

ПАРАДОКС ДЖЕВОНСА VS ГИПОТЕЗА БОРЛАУГА

В 2001 г. была сформулирована гипотеза Борлауга, названная в честь американского селекционера Нормана Борлауга, выведшего устойчивые к полеганию и ряду фитопатогенов сорта пшеницы и считающегося «отцом зеленой революции». Гипотеза гласит, что новые высокоурожайные сорта сельскохозяйственных растений в сочетании с более активным использованием удобрений, ирригации и пестицидов помогли спасти миллионы гектаров тропических лесов, преимущественно в Азии (Angelsen, Kaimowitz, 2001). Однако практически одновременно вышла работа, в которой было показано, что повышение рентабельности сельского хозяйства увеличивает вырубку тропических лесов в Бразилии (Fearnside, 2001). Данное наблюдение больше соответствует не гипотезе Борлауга, а парадоксу Джевонса: увеличение эффективности использования ресурса [земельного] приводят не к уменьшению, а к увеличению потребности в нем и соответственно усиливают экономические стимулы расширения полей сельскохозяйственных культур за счет лесных экосистем тропиков. Проведенное исследование динамики посевных площадей за период 1970–2005 гг. десяти основных сельскохозяйственных культур, показал, что только в 21% стран

(преимущественно в регионах с умеренным климатом) сочетание политико-экономических мер, направленных на сохранение земель, и роста импорта привело к одновременному повышению урожайности и сокращению посевных площадей. Из этого следует, что рост урожайности сам по себе не обязательно ведет к выводу пахотных земель из оборота, если отсутствуют политические меры, стимулирующие отказ от такого использования земель. Взаимосвязь между ростом урожайности и сокращением посевных площадей сформировалась в исторический период, характеризовавшийся избытком сельскохозяйственной продукции и снижением цен на нее. Изменение этих базовых условий может разорвать описанные выше связи. Так, когда в период с 2005 по 2008 год цены на сельскохозяйственную продукцию резко возросли, Европейский союз отреагировал на это отменой положений «Общей сельскохозяйственной политики», касающихся вывода земель из оборота в природоохранных целях (Rudel et al., 2009). Таким образом в настоящее время существуют большие опасения что в Бразилии, где ГМ-соя является главным продуктом импорта, интенсивные сельскохозяйственные биотехнологии согласно парадоксу Джевонса приведут к расширению ее посевов за счет вырубки тропических лесов (Schröder et al., 2025).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С начала XXI века среди сельскохозяйственных драйверов обезлесения Бразилии главную роль (60%) играет скотоводство, что связано с тем, что устройство пастбищ на месте вырубленного леса – первый шаг в длительном процессе получения собственности на незаконно занятый участок земли. Устройство посевов сои на расчищенном от леса участке происходит лишь в 10% случаев. Однако скотоводство не столь рентабельный сегмент сельскохозяйственного бизнеса, как соеводство, и потому в настоящее время, после получения прав собственности на землю, половина пастбищ переводится под посевы биотехнологической сои. Поэтому в конечном итоге основным бенефициаром вырубки лесов становятся владельцы соевых плантаций.

Следуя своим корпоративным интересам соевое лобби забывает о том, что продолжающаяся вырубка лесов представляет широкие системные риски для сельскохозяйственного производства. Вырубка лесов в Амазонии после достижения определенного и вскоре достижимого порога обезлесивания может изменить региональные закономерности выпадения осадков и повыситься температуру воздуха, что в дол-

госрочной перспективе будет угрожать выращиванию сои (Leite-Filho et al., 2025).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках Государственного задания Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН по теме «Проблемы экологической безопасности № 1021062812202-9/89.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Altoe S. M., Tanaka N., Hisano S.* Soybean Production and GMO Issues in Brazil // The Review of Agricultural Economics. 2001. Vol. 57. P. 135–155.
- Angelsen A., Kaimowitz D.* Introduction: The Role of Agricultural Technologies in Tropical Deforestation. In: Agricultural technologies and tropical deforestation / A. Angelsen, D. Kaimowitz (eds.). Wallingford: CABI Publishing, 2001. P. 1–17.
- Araujo G. R., da Silva F. L., Adegas F. S., Velini E. D., Alcántara-de la Cruz R.* Brazil as a Global Leader in Soybean Production: Historical Trends, Current Status, and Future Perspectives // International Journal of Plant Production. 2026. Vol. 20. No. 2. P. 56. DOI: 10.1007/s42106-026-00434-x

- Arroyo-Kalin M.* Slash-burn-and-churn: landscape history and crop cultivation in pre- Columbian Amazonia // *Quaternary International*. 2012. Vol. 249. P. 4–18. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.08.004
- Berman N., Couttenier M., Leblois A., Soubeyran R.* Crop prices and deforestation in the tropics // *Journal of Environmental Economics and Management*. 2023. Vol. 119. Article 102819. DOI: 10.1016/j.jeem.2023.102819
- Bowman M. S.* Impact of foot-and-mouth disease status on deforestation in Brazilian amazon and cerrado municipalities between 2000 and 2010 // *Journal of Environmental Economics and Management*. 2016. Vol. 75. P. 25–40.
- Bunker S.* Modes of extraction, unequal exchange, and the progressive underdevelopment of an extreme periphery: The Brazilian Amazon, 1600–1980 // *American Journal of Sociology*. 1984. Vol. 10. P. 1017–1064.
- Carvalho G. O., Nepstad D., McGrath D., del Carmen Vera Diaz M., Santilli M., Barros A. C.* Frontier expansion in the Amazon // *Environment*. 2002. Vol. 44. No. 3. P. 34–45.
- Carvalho R., Rausch L., Gibbs H. K., Bastos Lima M. G., Bernasconi P., ... & Silgueiro V.* Illegal deforestation in Mato Grosso: how loopholes in implementing Brazil's forest code endanger the soy sector // *Land*. 2024. Vol. 13. No. 11. Article 1828. DOI: 10.3390/land13111828
- Cianciaruso M. V., Bini L. M., Diniz-Filho J. A., Loyola R.* Brazil's environmental governance at risk // *Science*. 2026. Vol. 393. No. 6809. P. 362. DOI: 10.1126/science.aej1473
- Clement C. R.* 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline // *Economic Botany*. 1999. Vol. 53. P. 188–202. DOI: 10.1007/BF02866498
- Clement C. R., Denevan W. M., Heckenberger M. J., Junqueira A. B., Neves E. G., ... & Woods W. I.* The domestication of Amazonia before European conquest // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. Vol. 282. Article 20150813. DOI: 10.1098/rspb.2015.0813
- Denevan W. M.* Estimating Amazonian Indian numbers in 1492 // *Journal of Latin American Geography*. 2014. Vol. 13. P. 207–221. DOI: 10.1353/lag.2014.0036
- FAO.* *Global Forest Resources Assessment 2025*. Rome, 2025. 188 p. URL: <https://doi.org/10.4060/cd6709en> (19 September, 26).

- Fearnside P. M.* Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon // *Ambio*. 1986. Vol. 15. P. 74–81.
- Fearnside P. M.* Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil // *Environmental Conservation*. 2001. Vol. 28. No 1. P. 23–28.
- Fearnside P. M.* Avança Brasil: environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia // *Environmental Management*. 2002. Vol. 30. No. 6. P. 735–747.
- Ferrante L., Schiesari L., Haddad C. F. B., Morellato L. P. C., ... & Hrbek T.* Amazon infrastructure poses biosecurity risks // *Science*. 2026. Vol. 392. P. 156–157. DOI: 10.1126/science.aeg1212
- Fukase E., Martin W.* Economic growth, convergence, and world food demand and supply // *World Development*. 2020. Vol. 132. Article 104954. DOI: 10.1016/j.worlddev.2020.104954
- Harding T., Herzberg J., Kuralbayeva K.* Commodity prices and robust environmental regulation: Evidence from deforestation in Brazil // *Journal of Environmental Economics and Management*. 2021. Vol. 108. Article 102452.
- Hartwig E. E., Kiihl R. A. S.* Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions // *Field Crops Research*. 1979. Vol. 2. P. 145–151.
- Hymowitz T.* The history of the soybean. In: *Soybeans* / Lawrence Alan Johnson (ed.), P. J. White, R. Galloway, L.A. Johnson (eds.). Urbana: AOCS Press, 2008. P. 1–31. DOI: 10.1016/B978-1-893997-64-6.50004-4
- James C.* Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2004. ISAAA Briefs 32. URL: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/41/executivesummary/pdf/> (07 August, 2026).
- Júnior F. W. R., Forte C. T., Scariot M. A., Mulinari J., Galon L., ... & Treichel H.* Soy in Brazil: Past, present and future. In: *Soybeans: Cultivation, nutritional properties and effects on health*. Chapter 7 / B. Fletcher (ed.), New York: Nova Science Pub Inc, 2017. P. 153–176.
- Kaimowitz D., Thiele G., Pacheco P.* The effects of structural adjustment policies on deforestation and forest degradation in lowland Bolivia // *World Development*. 1999. Vol. 27. P. 202–205.
- Kirby K. R., Laurance W. F., Albernaz A. K., Schroth G., Fearnside P. M., ... & da Costa C.* The future of deforestation in the Brazilian Amazon // *Futures*. 2006.

- Vol. 38. No. 4. P. 432–453. DOI: 10.1016/j.futures.2005.07.011
- Leite-Filho A. T., Soares-Filho B. S., Oliveira U., Coe M.* Intensification of climate change impacts on agriculture in the Cerrado due to deforestation // *Nature sustainability*. 2025. Vol. 8. P. 34–43. DOI: 10.1038/s41893-024-01475-8
- Levis C., Souza P. F., Schietti J., Emilio T., Pinto J. L. P. V., Clement C. R., Costa F. R.* Historical human footprint on modern tree species composition in the Purus-Madeira interfluvium, central Amazonia // *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7. No. 11. P. e48559. DOI: 10.1371/journal.pone.0048559
- Lipscomb M., Prabakaran N.* Property rights and deforestation: Evidence from the Terra Legal land reform in the Brazilian Amazon // *World Development*. 2020. Vol. 129. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104854
- McMichael C. H., Palace M. W., Bush M. B., Braswell B., Hagen S. ... & Czarnecki C.* Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2014. Vol. 281. Article 20132475. DOI: 10.1098/rspb.2013.2475
- Milioli A. S., Meira D., Panho M. C., Madella L. A., Woyann L. G. ... & Benin G.* Genetic improvement of soybeans in Brazil: South and Midwest regions // *Crop Science*. 2022. Vol. 62. P. 2276–2293. DOI: 10.1002/csc2.20820
- Neate P. J. H., Guei R. G.* Promoting the growth and development of smallholder seed enterprises for food security crops: best practices and options for decision making. Rome: FAO. 2010, 35 p.
- Nepstad D., Verissimo A., Alencar A., Nobre C., Lima E. ... & Brooks V.* Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire // *Nature*. 1999. Vol. 398. P. 505–508. DOI: 10.1038/19066
- de Oliveira G. M., Fearnside P. M., Börner J.* Re-vive Brazil's soy moratorium // *Science*. 2026. Vol. 391. P. 668.
- Pokorny B., Pacheco P., de Jong W., Entenmann S. K.* Forest frontiers out of control: The long-term effects of discourses, policies, and markets on conservation and development of the Brazilian Amazon // *Ambio*. 2021. Vol. 50. P. 2199–2223. DOI: 10.1007/s13280-021-01637-4
- Probst B., BenYishay A., Kontoleon A., dos Reis T. N.* Impacts of a large-scale titling initiative on deforestation in the Brazilian Amazon // *Nature Sustainability*

- lity. 2020. Vol. 3. No. 12. P. 1019–1026.
- Rausch L., Reis T. N. P., Mazzetti C., Barrozo M., Skidmore M., Gibbs H. K.* The rise and fall of the Amazon Soy Moratorium // *Science*. 2026. Vol. 393. P. 249–251.
- Roosevelt A. C.* The Amazon and the Anthropocene: 13,000 years of human influence in a tropical rainforest // *Anthropocene*. 2014. Vol. 4. P. 69–87. DOI: 10.1016/j.ancene.2014.05.001
- Rudel T. K., Schneider L., Uriarte M., Turner B. L., DeFries R. ... & Grauj R.* Agricultural Intensification and Changes in Cultivated Areas, 1970–2005 // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009. Vol. 106. P. 20675–20680. DOI: 10.1073/pnas.0812540106
- Sandler T.* Tropical deforestation: Markets and market failures // *Land Economics*. 1993. Vol. 69. No. 3. P. 225–233.
- Schröder L. S., Tello C., Mitter H., Jantke K., Lowden da Silva L., ... & Schneider U. A.* Producers' perspectives on agricultural intensification in the Brazilian Amazon: bridging behavioral theory, empirical evidence, and land use models // *Journal of Land Use Science*. 2025. Vol. 20. No. 1. P. 221–240. DOI: 10.1080/1747423X.2025.2565485
- Song X. P., Hansen M. C., Potapov P., Adusei B., Pickering J. ... & Tyukavina A.* Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation // *Nature Sustainability*. 2021. Vol. 4. P. 784–792.
- Spehar C. R.* Impact of strategic genes in soybean on agricultural development in the Brazilian tropical savannahs // *Field Crops Research*. 1995. Vol. 41. P. 141–146.
- Tyukavina A., Hansen M. C., Potapov P. V., Stehman S. V., Smith-Rodriguez K., ... & Aguilar R.* Types and rates of forest disturbance in Brazilian Legal Amazon, 2000–2013 // *Science Advances*. 2017. Vol. 3. P. e1601047.
- Vancutsem C., Achard F., Pekel J.-F., Vieilledent G., Carboni S. ... & Nasi R.* Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics // *Science Advances*. 2021. Vol. 7. No. 10. Article: eabe1603. DOI: 10.1126/sciadv.abe1603
- Viktorov A. G.* Current trends in the global market of transgenic plants and environmental safety issues // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2016. Vol. 63. No. 1. P. 38–45. DOI: 10.1134/S1021443716010179
- USDA.* Oilseeds: World Markets and Trade (December issue). United States Department of Agriculture. 2025. URL: <https://clck.su/qJWJJ> (07 August, 2026).

AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY AS A DRIVING FORCE FOR AMAZON DEFORESTATION

A. G. Viktorov

*A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences
Leninsky Prospekt 33, 119071 Moscow, Russian Federation*

E-mail: aleviktorov@ya.ru

Received: 06.08.2026

Revised: 07.09.2026

Accepted: 15.09.2026

The rapid growth of the global population in the second half of the 20th century has necessitated an increase in the world's food supply. Initially, this problem was successfully addressed through the advances in plant breeding during the Green Revolution. However, when this potential was exhausted at the end of the last century, the issue found both intensive and extensive solutions. The first involved the creation of genetically modified crops, and the second involved expanding the area of agroecosystems through tropical deforestation. In 2003, these two approaches converged in Brazil, where GM soybeans began to be planted in the place of deforested tropical forests. In accordance with the Jevons paradox, increased land use efficiency led to increased economic incentives for expanding biotech crop fields at the expense of tropical ecosystems.

Keywords: *Brazil, Amazon, tropical deforestation, genetically modified soybeans, food security, global food demand*

Рецензенты: д. б. н., г. н. с. Чертов О. Г.

к. б. н., с. н. с. Гераськина А. П.