НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

УДК-504.7

ОЦЕНКА РИСКОВ И ЭТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Морозова Наталья Вадимовна
Аспирант кафедры прикладной этики и экологической политики, Белорусский государственный университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация

В настоящей масштабной фундаментальной исследовательской работе осуществляется развернутый, детальный, глубокий и многоаспектный научно-теоретический анализ экологических, геофизических, социально-экономических, геополитических и этических аспектов климатической инженерии в условиях нарастающего глобального изменения климата. В центре внимания находится исследование методов управления солнечной радиацией и технологий удаления диоксида углерода из атмосферы, а также оценка каскадных и побочных рисков, региональной асимметрии климатических воздействий, проблемы резкого прекращения вмешательств, трансграничной ответственности, справедливости между поколениями и принципов международного управления. В статье подробно рассматриваются стратосферный аэрозольный инжекционный ввод, осветление морских облаков, прямое воздушное улавливание углерода, химическое выветривание силикатов и морские методы секвестрации углерода, а также вопросы моделирования климатических откликов, неопределенности прогнозов и моральных дилемм вмешательства в планетарные системы. На основе междисциплинарного синтеза климатологии, экологической этики, системного анализа, международного права и политической философии формулируются концептуальные подходы к ответственной оценке рисков и выработке нормативных рамок принятия решений в сфере климатической инженерии.

Ключевые слова: климатическая инженерия, управление солнечной радиацией, удаление углерода, оценка рисков, экологическая этика, климатическая справедливость, неопределенность, геополитика, глобальное управление, устойчивое развитие.

Введение

Современная климатическая система Земли испытывает беспрецедентное антропогенное возмущение, вызванное накоплением парниковых газов в атмосфере, изменением землепользования и интенсификацией хозяйственной деятельности. Рост средних глобальных температур, учащение экстремальных

погодных явлений, таяние ледников, повышение уровня Мирового океана, закисление морских вод и деградация экосистем создают серьезные угрозы для продовольственной и водной безопасности, инфраструктуры, здоровья населения и устойчивого развития государств и регионов. Несмотря на международные соглашения и расширение возобновляемой энергетики, темпы сокращения чистых антропогенных выбросов во многих секторах остаются недостаточными для удержания потепления в безопасных пределах, что повышает интерес исследователей и лиц, принимающих решения, к дополнительным и резервным стратегиям воздействия на климатическую систему.

Под климатической инженерией обычно понимают совокупность крупномасштабных, преднамеренных технических и природных вмешательств в климатическую систему Земли, направленных на противодействие изменению климата или смягчение его последствий. В современной научной литературе эти подходы принято разделять на два основных направления: удаление диоксида углерода из атмосферы и его долговременное связывание, а также управление солнечной радиацией, нацеленное на увеличение отражательной способности планеты или облачного покрова для снижения притока солнечной энергии к поверхности. При этом между этими направлениями существуют принципиальные различия по физическому механизму действия, временным масштабам отклика, обратимости, уровню рисков и степени воздействия на биогеохимические циклы.

Обращение к технологиям преднамеренного изменения планетарных процессов ставит перед наукой и обществом сложнейшие вопросы не только физического и инженерного характера, но и ценностного, правового и этического порядка. Любое крупномасштабное вмешательство в климат затрагивает общие планетарные ресурсы, трансграничные экосистемы и интересы миллиардов людей, живущих в различных природных и социально-экономических условиях, а также будущих поколений, не участвующих в принятии современных решений.

Целью данного исследования является систематический научно-теоретический анализ рисков и этических аспектов климатической инженерии, сопоставление основных технологических подходов с точки зрения их побочных эффектов и неопределенностей, рассмотрение проблем справедливости, ответственности и управления, а также определение методологических принципов взвешенной оценки климатических вмешательств.

Технологические направления климатической инженерии и специфика их рисков

Методы удаления диоксида углерода ориентированы на устранение первопричины долгосрочного потепления — избыточной концентрации парниковых газов в атмосфере — и включают облесение и восстановление экосистем, биоэнергетику с улавливанием и хранением углерода, прямое воздушное улавливание углерода сорбентами или растворителями, ускоренное

химическое выветривание измельченных силикатных пород, а также морские методы, такие как повышение щелочности океана или стимуляция биологического насоса. Хотя удаление углерода напрямую снижает радиационное воздействие парниковых газов и способствует замедлению закисления океана, оно сопряжено с рисками конкуренции за земельные и водные ресурсы, энергоемкости, утечек закачанного углерода из геологических резервуаров, изменения морской химии и экосистемных последствий при масштабном вмешательстве в биосферу.

Методы управления солнечной радиацией — такие как распыление отражающих аэрозолей или их прекурсоров в стратосфере, осветление морских облаков за счет распыления морских солей или истончение перистых облаков для усиления длинноволнового теплового излучения в космос — воздействуют на радиационный баланс быстрее и потенциально способны снижать глобальную температуру в течение месяцев или лет. Однако они не устраняют первопричину накопления углекислого газа в атмосфере, не останавливают закисление океана и могут изменять гидрологический цикл, распределение осадков, муссонную циркуляцию, стратосферный озоновый слой и поступление прямой солнечной радиации на поверхность с последствиями для сельского хозяйства и солнечной энергетики.

Особую тревогу вызывает проблема резкого прекращения вмешательства в случае применения методов управления солнечной радиацией. Если крупномасштабное солнечное геоинженерное воздействие будет внезапно остановлено из-за технического сбоя, геополитического конфликта, экономического кризиса или изменения политической воли после длительного накопления парниковых газов, температура поверхности может стремительно возрасти до уровней, соответствующих ненаблюдавшемуся ранее радиационному форсингу, создавая шоковую скорость потепления, способную превысить адаптационные возможности экосистем и человеческих обществ.

Неопределенность моделирования, системные эффекты и управление рисками

Оценка рисков климатической инженерии осложняется фундаментальной сложностью и нелинейностью климатической системы Земли. Численные климатические модели позволяют исследовать чувствительность атмосферы, океана, криосферы и биосферы к различным сценариям вмешательств, однако сохраняются значительные неопределенности в параметризации облачности, конвекции, аэрозольно-облачных взаимодействий, турбулентного перемешивания и обратных связей углеродного цикла. Кроме того, многие потенциальные эффекты могут проявляться на региональном уровне или в виде редких экстремальных событий, где статистическая достоверность модельных оценок ниже, чем для осредненных глобальных показателей.

Важной особенностью риска при климатической инженерии является асимметрия распределения выгод и ущерба. Даже если определенная мера снижает среднюю глобальную температуру, она может вызывать засухи или наводнения в конкретных регионах, изменять режимы речного стока или снижать урожайность одних культур при повышении продуктивности других. Возникает сложная проблема атрибуции: в случае возникновения экстремального погодного явления или неурожая на фоне активного геоинженерного воздействия практически невозможно однозначно разделить естественную изменчивость, антропогенное изменение климата и побочный эффект вмешательства, что повышает конфликтный потенциал и усложняет оценку ущерба.

В этих условиях классические вероятностные подходы к оценке рисков, опирающиеся на исторические частоты событий и стационарные распределения, оказываются недостаточными. Необходимы сценарный анализ, исследование глубокой неопределенности, стресс-тестирование на экстремальные и каскадные сценарии, а также учет социальных, организационных и человеческих рисков, включая ошибки проектирования, нарушения регламентов и непреднамеренные технологические сбои.

Этические дилеммы, справедливость и межпоколенческая ответственность

Этические аспекты климатической инженерии затрагивают базовые вопросы моральной философии, экологической этики и социальной справедливости. Одним из центральных споров является проблема «морального риска», при котором сама перспектива или разработка технологий климатического вмешательства может ослаблять политическую волю и мотивацию к быстрой декарбонизации экономики, снижению потребления ресурсов и трансформации энергетических и производственных систем. Критики указывают, что опора на технические «заплатки» вместо устранения коренных причин изменения климата рискует закрепить неустойчивые модели развития и переложить бремя долгосрочных последствий на будущие поколения.

Не менее острой является проблема распределительной и процедурной справедливости. Наиболее уязвимые перед изменением климата регионы и социальные группы зачастую обладают наименьшими ресурсами для участия в разработке, тестировании и регулировании геоинженерных технологий, тогда как решения могут приниматься ограниченным кругом государств или технологических акторов. Возникает этический вопрос о допустимости действий, при которых одни сообщества получают выгоду от стабилизации климата, а другие несут повышенные риски изменения осадков, экосистемных сдвигов или утраты традиционного уклада жизни.

Межпоколенческая этика требует оценки того, насколько нынешнее поколение вправе навязывать будущим поколениям необходимость непрерывного поддержания сложной технологической системы ради предотвращения резкого климатического шока. С точки зрения отношения человека к природе обсуждается

также граница между ответственным управлением антропогенным воздействием и чрезмерным техноцентризмом, рассматривающим планетарные системы как объект произвольного инженерного конструирования без учета их целостности и самоценности.

Геополитика, правовые рамки и принципы управления

Крупномасштабная климатическая инженерия имеет ярко выраженное трансграничное и геополитическое измерение, поскольку атмосфера, океаны и климатические зоны не подчиняются государственным границам. Одностороннее развертывание технологий управления солнечной радиацией даже сравнительно небольшим государством или частной структурой в теории способно изменить климат на обширных территориях других стран, что создает риски геополитической напряженности, взаимных обвинений в климатическом ущербе и даже сценариев «климатического принуждения» или противодействия.

Современная международно-правовая система не содержит исчерпывающих и общеобязательных норм, специально регулирующих все аспекты климатической инженерии, хотя к ней могут быть применимы отдельные положения международного экологического права, конвенций об изменении климата, биологическом разнообразии, морском праве и принципах предотвращения трансграничного вреда. Отсутствие четких правил создает правовую неопределенность в вопросах разрешения полевых экспериментов, мониторинга, уведомления других государств, оценки воздействия на окружающую среду и ответственности за трансграничный ущерб.

Формирование эффективного и легитимного управления требует широкого международного и междисциплинарного диалога, прозрачности исследований, открытости модельных данных и результатов полевых испытаний, участия различных регионов и групп населения, а также поэтапного подхода, при котором строгие научные критерии, меры предосторожности и механизмы коллективного контроля предшествуют любым решениям о масштабном применении.

Методологические подходы к комплексной оценке вмешательств

Поскольку климатическая инженерия соединяет физические процессы, технологические решения, экономические интересы и ценностные суждения, ее оценка не может сводиться к узкому технико-экономическому расчету или абстрактной этической дискуссии. Необходим интегрированный подход, объединяющий климатическое и биогеохимическое моделирование, оценку жизненного цикла технологий, анализ социально-экономических уязвимостей, сценарное планирование и структурированную этическую экспертизу.

Важным методологическим требованием является явное разделение фактов, модельных оценок, неопределенностей и ценностных приоритетов при представлении результатов анализа. Различные этические традиции —

утилитарные, деонтологические, экологические и ориентированные на справедливость — по-разному взвешивают риски бездействия при неконтролируемом потеплении и риски самого вмешательства. Сопоставление этих перспектив позволяет выявлять скрытые компромиссы, проверять устойчивость рекомендаций к изменению ценностных предпосылок и формировать более информированные и ответственные решения.

Заключение

Оценка рисков и этических аспектов климатической инженерии представляет собой критически важное направление современных междисциплинарных исследований на стыке климатологии, экологии, права, политики и прикладной этики. Различия между методами удаления углерода и управления солнечной радиацией, асимметрия региональных последствий, глубокая неопределенность откликов климатической системы и проблема резкого прекращения вмешательств показывают, что технологическая осуществимость сама по себе не означает безопасности или целесообразности применения.

Этические дилеммы морального риска, справедливости между странами и поколениями, а также вопросы международной ответственности и управления требуют опережающего осмысления до того, как технологические возможности опередят институциональные и нормативные механизмы. Взвешенная оценка климатической инженерии должна опираться на строгую науку, прозрачность, учет неопределенностей и признание приоритета системного снижения выбросов и адаптации в стратегии противодействия изменению климата.

Литература

1. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. — Л.: Гидрометеоиздат, 2020. — 352 с.
2. Мелешко В. П., Катцов В. М. Моделирование климатических изменений: достижения и проблемы. — Метеорология и гидрология. — 2020. — № 11. — С. 5–22.
3. Анисимов О. А., Стрелецкий Д. А. Антропогенные изменения климата и риски устойчивого развития. — СПб.: Наука, 2021. — 384 с.
4. Маркович Д. Ж. Социальная экология и этика устойчивого развития. — М.: Академический проект, 2020. — 416 с.
5. Хеллстром Э. Экологическая политика и управление глобальными рисками. — М.: Аспект Пресс, 2021. — 320 с.
6. Gardiner S. M. A Perfect Moral Storm: The Ethical Tragedy of Climate Change. — Oxford: Oxford University Press, 2019. — 496 p.
7. Preston C. J. Engineering the Climate: The Ethics of Solar Radiation Management. — Lanham: Lexington Books, 2019. — 268 p.
8. Shepherd J. Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty. — London: Royal Society, 2019. — 98 p.
9. Climatic Change. — 2025. — Vol. 178, No. 4. — P. 1–24.