

Аналитика на тему:

КАРБОНОВЫЙ ПОЛИГОН: КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ

Проректор по научной работе БФУ им. И. Канта
Демин Максим Викторович

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	3
<i>РОССИЙСКАЯ ПРАКТИКА: КАЛУЖСКИЙ ПОЛИГОН</i>	5
<i>ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛИГОНОВ: ЗАРУБЕЖНАЯ ПРАКТИКА</i>	10
<i> КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ</i>	16
<i>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</i>	20
<i>СПИСОК ИСТОЧНИКОВ</i>	22
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ А. РАБОЧИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНТЕРЕСНЫЕ ССЫЛКИ .</i>	23

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы экологии, в том числе, связанные с сокращением выбросов антропогенных парниковых газов и сохранением климата, занимают важное место в повестке большинства мировых держав, включая Российскую Федерацию (РФ), что было документально зафиксировано путем принятия Парижского Соглашения [1]. Страны Европейского Союза (ЕС) исторически являются наиболее активными сторонниками экологических инициатив и уже давно адаптировали различные фискальные инструменты (налоги и квоты) для стимулирования предприятий к снижению выброса двуоксида углерода и других компонентов парниковых газов [2]. Одним из последних шагов на пути подобной политики стало внесение предложения о введении трансграничных налогов на углекислый газ в отношении ряда импортируемых в страны ЕС товаров [3]. И хотя в настоящее время данный проект находится в стадии проработки, а правовые и методические детали его реализации неизвестны, эксперты уверены, что новый налог будет введен и повлечет значительные финансовые потери для РФ [4]. С учетом того, что в ЕС уходит более 40% российского экспорта, из которых более 70% составляют «экологически грязные»: нефть, уголь, газ и металл, из-за нового налога экономика РФ будет терять от трех до пяти миллиардов долларов ежегодно уже с 2022 года, а к 2030 эти затраты составят более восьми миллиардов в год.

Российское правительство и эксперты Банка России уже разрабатывают законодательные и экономические инструменты для снижения негативных последствий европейской инициативы, исходя из консенсуса о том, что при наличии работающей в стране системы учета и налогообложения эмиссии углекислого газа, ЕС будет учитывать этот фактор при заключении новых торговых соглашений и снизит, или полностью аннулирует соответствующий налоговый сбор [5]. Впрочем, по мнению представителей сообщества российских предпринимателей, грядущие изменения можно рассматривать и с точки зрения возможностей, появляющихся благодаря расширению границ рынка квот на выбросы парниковых газов [6]. Ведь этот рынок, появившийся после вступления в силу Киотского протокола, предусматривает учет не только эмиссии, но и поглощения (консервации) углерода, что позволяет России выйти на него в качестве поставщика углеродных единиц, предлагая, например, свои лесные территории в качестве абсорбента углекислых газов. Реалистичность подобного сценария находится под вопросом, ведь в настоящее время в ЕС поглощение лесов никак не учитывается при расчете квот на выбросы парниковых газов, однако, в свете появления нового налога и обсуждений, связанных с деталями его реализации, у российской стороны появляется возможность

изменить сложившуюся ситуацию и внести фактор поглощения в формулы расчета углеродного баланса, что позволит реализовывать лесоклиматические проекты, которые обладают большим потенциалом по сокращению выбросов парниковых газов [7]. Однако, успех политического диалога, во многом будет зависеть от решения проблемы корректного расчета углеродного баланса для лесных территорий.

Существует большое количество методик учета поглощения и эмиссии парниковых газов для лесных массивов, которые достаточно сильно различаются в своих оценках [8]. Так, официальная методика РОБУЛ может занижать реальные цифры поглощения углерода для лесов РФ более чем на 350 млн. т. С/год. Это обусловлено целым рядом причин, среди которых основными являются: отсутствие точных данных по абсорбции для различных видов растительности с учетом полного жизненного цикла и проблема корректного подсчета объемов углерод поглощающей фитомассы на определенных (зачастую труднодоступных) территориях. Для получения ответов на данные вопросы проводятся научные исследования, организуемые на специальных карбоновых полигонах, первый из которых был создан частной компанией Ctrl2GO в Калуге [9]. На подобных полигонах проводится полевой анализ территории для расчета биомассы, видового состава растений и состояния почв, сбор информации при помощи космических и беспилотных систем, наземных сенсоров, после чего весь полученный массив данных анализируется с использованием машинного обучения для построения моделей, позволяющих экстраполировать сведения об углеродном балансе эталонной площадки на другие территории. Карбоновый полигон позволяет отработать комплекс научных и технологических решений для создания системы достоверного учета поглощения и выбросов парниковых газов, а также собрать массив экспериментальных данных для разработки уточненной методики оценки углеродного баланса природными экосистемами.

РОССИЙСКАЯ ПРАКТИКА: КАЛУЖСКИЙ ПОЛИГОН

Первый в России карбоновый полигон был открыт в Калужской области 22.09.2020 года. Проект “Карбон” реализуется компанией Ctrl2GO на землях сельскохозяйственного назначения площадью 600 га в национальном парке «Угра».

Назначение полигона: расчет углеродного баланса территорий.

Для анализа используются: снимки поверхности из космоса и с беспилотника (выполняют гиперспектральные сканы), на отдельных эталонных участках проводится измерение поглощения и эмиссии углерода наземными сенсорами и анализаторами. Добавляется информация о погоде, составе почв и доступные архивные данные по этим территориям.

СБОР ДАННЫХ: ПОЛЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЧВЫ И ФИТОМАССЫ

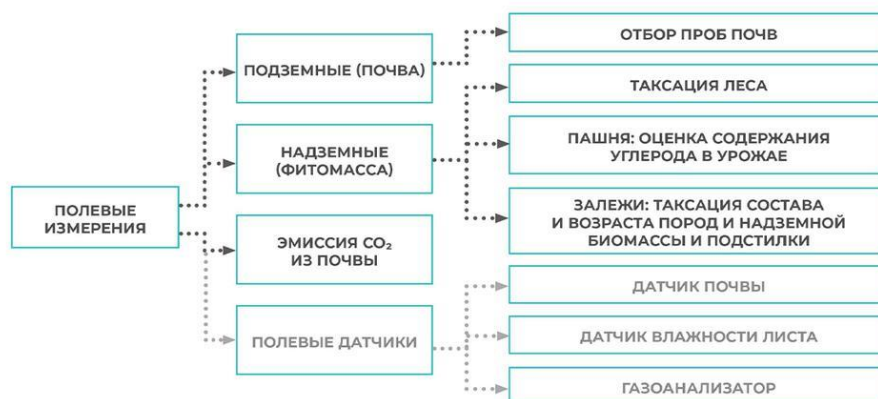


Схема сбора полевых данных.

Принцип измерения, используемый на карбоновом полигоне в Калужской области (анализ)

С использованием математических моделей и программного обеспечения на базе машинного обучения, создаются цифровые копии участков поверхности, для которых рассчитываются параметры поглощения и эмиссии углерода, суммарный углеродный баланс.

На полигоне запущена экспериментальная ферма, на которой высажены плантации растений, характеризующихся высокой поглотительной способностью (мискантус, павлония). Стоимость полигона составляет около 300 миллионов рублей.

Основная гипотеза заключается в том, что создание сети карбоновых полигонов позволит сформировать отечественную методику расчета способности поглощения углекислого газа окружающей средой.

Выделенные эталонные участки используются для калибровки спутниковых данных и данных беспилотников, полученные результаты могут быть экстраполированы на остальную территорию страны для получения точных данных о поглотительной способности разных типов ландшафтов без использования трудоемких и затратных по времени наземных исследований.

Заявленные принципы анализа: использование спутниковых снимков поверхности из космоса, съемки с беспилотника и наземные измерения. Наземные измерения используются в качестве разметки данных (для обучения алгоритмов машинного обучения), получаемых с беспилотника и спутника. В перспективе это должно позволить оценивать поглощающую способность территорий по данным с беспилотника/спутника, не используя данные наземных измерений.

Для нативного спектрального анализа используются данные со спутника и радаров. Выделенная территория анализируется с помощью различных беспилотных систем для компоновки «гиперспектральных кубов» (различные спектральные сигнатуры позволяют определить тип земной поверхности). Таким образом, полигон используется для калибровки спутниковых данных и данных беспилотников, с последующей экстраполяцией результатов на остальную территорию. Для обеспечения работы данного подхода на разных типах территории требуется сбор данных о поглотительной способности разных типов ландшафтов (в новостных источниках говорится о 80 полигонах), включая данные спектроскопии (информация отсутствует)

ПРОГРАММА СОЗДАНИЯ КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ

Значимость созданного полигона для технологического и экономического развития РФ была подтверждена на самом высоком уровне и Минобрнауки уже анонсировал создание подобных площадок в десяти регионах, среди которых присутствует и Калининградская область (КО) [10]. Основной целью создания широкой сети карбоновых полигонов по всей стране является полноценный учет климатических особенностей в различных частях РФ, что необходимо для определения поправочных территориальных коэффициентов в разрабатываемой модели расчета углеродного баланса.

Глобальную федеральную программу (10-15 лет), связанную с парниковыми газами и экономическими последствиями их контроля можно разделить на три крупных этапа:

1. Разработка и аттестация на международном уровне единой методики расчета и учета поглощения и эмиссии парниковых газов;
2. Разработка технологий изменения углеродного баланса (уменьшение эмиссии и увеличение секвестрации);
3. Привязка углеродного баланса к экономическим системам (квоты).

Ведь этот рынок, который может образоваться после вступления в силу Киотского протокола, предусматривает учет не только эмиссии, но и поглощения (секвестрации) и консервации углерода, что позволяет России выйти на него в качестве поставщика углеродных единиц.

При этом все перечисленные этапы дополнительно можно разделить еще на два блока:

- связанные с природными явлениями;
- связанные с результатами техногенной деятельности.

Сегодня же нет однозначной подтвержденной методики расчета углеродного баланса именно природных систем, в частности в разрезе поглощения (в отличие от эмиссии по результатам техногенной деятельности, которая, в соответствии с некоторыми признанными методиками, рассчитывается математически).

Осенью 2020 года губернатор Калининградской области и ректор БФУ им. И. Канта выступили с инициативой участия региона и университета в данной федеральной программе по нескольким причинам, ключевая из которых – экономические перспективы для индустрии региона:

- учет особенностей деятельности конкретных предприятий на первом этапе программы – разработка методик с учетом этих особенностей;

- отработка предлагаемых на втором этапе технологий именно на предприятиях региона с учетом их специфики;
- опережающая позиция региона на третьем этапе.

КО является самым западным регионом России и находится на побережье Балтийского моря, что позволяет выделять ее климатические условия в отдельную зону, имеющую отличия от других территорий РФ. Кроме того, географическое положение КО позволяет говорить о ее особенной позиции в политическом смысле — будучи полуэксклавом, область окружена странами ЕС (прямые границы с Польшей и Литвой). Это, с одной стороны, делает ее своеобразным фасадом России, по которому европейцы судят о положении дел в нашей стране. С другой, открывает возможность по адаптации, например, польского опыта организации лесного карбонового полигона [11]. Последний момент дает два потенциальных преимущества, в отношении будущей сертификации разрабатываемой модели углеродного баланса для ЕС. Во-первых, приведение в качестве фундамента для созданной модели уже одобренной европейцами системы позволяет укрепить позиции российских дипломатов при ответе на вопросы о конкретных решениях и особенностях нашей модели — условно: «данный механизм был использован, так как продемонстрировал свою эффективность вот в этом европейском проекте, организационные принципы которого легли в основу нашего полигона». Во-вторых, благодаря климатической схожести КО с некоторыми странами ЕС, коэффициенты, полученные на калининградском карбоновом полигоне, можно напрямую использовать в случае требований еврокомиссии по прохождению испытаний разработанной модели за пределами территории России — условно: «наша модель дает абсолютно достоверные данные, поэтому мы готовы передать ее для верификации на Ваших площадках и не собираемся оправдывать потенциальные проблемы территориальными особенностями нашей страны».

Карбоновый полигон является территориально распределенной (полигон должен включать в себя основные типы репрезентативных экосистем Калининградской области.) научно-исследовательской площадкой, предназначенной для решения трех основных задач:

- разработки модели для расчета углеродного баланса местности с учетом поглощения и эмиссии локальной экосистемы;
- разработки метода использования аэрокосмических данных для отслеживания выбрасываемых и удерживаемых парниковых газов в пределах конкретных биогеоценозов;

- подготовка кадров высшей квалификации в области новейших методов экологического контроля, перспективных технологий для низкоуглеродной индустрии, сельского и муниципального хозяйства.

В заключение обоснования необходимости создания карбонового полигона в КО следует сказать, что, несмотря на достаточно сильный акцент на политическую подоплеку в данном тексте до настоящего момента, основным аргументом все же являются объективные климато-экологические особенности области, информация о которых значительно улучшит конечный результат глобального проекта «Карбоновые полигоны и фермы – новая индустрия, технологические и экономические перспективы для России» [10]. Далее в тексте концепция создаваемого карбонового полигона будет описываться исключительно с позиции научно-технической организации, без каких-либо ремарок о социальной, финансовой или политической значимости подобных проектов для РФ.

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛИГОНОВ: ЗАРУБЕЖНАЯ ПРАКТИКА

Восстановление и повторное заболачивание торфяников

Торфяники, являясь крупнейшим в мире природным хранилищем углерода на суше, играют ключевую роль в борьбе с изменением климата. Нетронутые торфяники играют важную роль в углеродном цикле, смягчении последствий изменения климата и предоставлении экосистемных услуг из-за их роли в качестве постоянного запаса углерода, заблокированного водой, и постоянного поглотителя. Однако годы неустойчивой практики управления земельными ресурсами привели к деградации торфяников, ограничив их способность предоставлять эффективные услуги по регулированию климата. В настоящее время деградированные торфяники выбрасывают 2 Гт CO₂ в год и на них приходится почти 5% общемировых антропогенных выбросов CO₂. Только за счет осушения торфяников около 220 млн т CO₂экв. выбрасываются в ЕС в год. Поэтому восстановление, повторное заболачивание и сохранение торфяников является неотложным приоритетом в смягчении последствий изменения климата, а также в обеспечении других экосистемных услуг.

Влияние на климат: в основном предотвращение выбросов из дренажа, кроме того, торфяники активно поглощают большое количество углерода, но это медленный процесс с низким годовым приростом углерода.

Мониторинг, отчетность и проверка (MRV): Невозможно проводить постоянный мониторинг первичных данных на месте. Следовательно, механизмы должны полагаться на мониторинг показателей (например, метод GEST). Внутренняя отчетность на уровне проекта и сторонняя проверка с помощью экспертов, утвержденных механизмом. Данные проверки передаются для проверки.

Общий вывод: предотвращение выбросов от осушения торфяников является важным вариантом смягчения воздействия со значительными сопутствующими выгодами для предоставления экосистемных услуг. Разработка и эксплуатация механизма торфяных угодий, основанного на углеродных технологиях, является многообещающим и осуществимым способом стимулировать правительство, власти и фермеров к принятию эффективных и действенных мер по борьбе с изменением климата в ЕС. Изучение и использование уже действующих субнациональных и национальных механизмов и программ торфяных выплат на основе результатов в ЕС может способствовать развитию механизмов и расширению их масштабов в ЕС.

Агроресководство

Агролесоводство — это практика преднамеренного объединения древесной растительности (деревьев или кустарников) с системами растениеводства и / или животноводства на одном и том же участке земли. Традиционные системы агролесоводства очень разнообразны и адаптированы к местным почвам, климатическим условиям и системам ведения сельского хозяйства. Примеры включают большие площади засушливых земель деэса и монтадон в Испании и Португалии, системы многолетних сельскохозяйственных культур и пастбищ в Юго-Восточной Европе, а также лесные пастбища и ландшафты бокаж (живые изгороди) в северных государствах-членах. Совсем недавно новые системы агролесоводства были созданы как на пахотных, так и на пастбищных фермах, но очевидно, что потенциал агролесоводства не используется, а существующие давно установленные системы находятся под угрозой. По сравнению с традиционными производственными системами, агролесоводство вносит значительный вклад в связывание углерода, увеличивается ряд регулирующих экосистемных услуг и увеличивает биоразнообразие. По оценкам последних исследований, внедрение агролесомелиорации на пахотных и пастбищных угодьях, где уже существует множественная нагрузка на окружающую среду, может привести к секвестрации от 2,1 до 63,9 млн т $C a^{-1}$ (7,78 и 234,85 млн т $CO_2eq a^{-1}$). Тип принятого агролесомелиорации повлияет как на потенциал секвестрации, так и на вклад агролесомелиорации в создание других факторов давления на окружающую среду (Kau et al, 2019). Однако, как отмечает IPCC (2019), агролесомелиорация может потребовать больше времени для получения выгод от выбросов парниковых газов, чем другие меры, и не может продолжать улавливать углерод бесконечно долго. Системы агролесоводства также подвержены риску повторных выбросов, связанных с плохим управлением и стихийными бедствиями.

Влияние на климат: любые действия, которые поддерживают/улучшают или внедряют древесные компоненты, интегрированные в сельскохозяйственное производство, для долгосрочного увеличения запасов углерода и потенциала связывания в биомассе и почвах без увеличения выбросов в краткосрочной перспективе.

Мониторинг, отчетность и проверка (MRV): Только косвенные методы для определения сбережений углерода на приусадебных участках, связанных с надземной биомассой, и фактические значения будут зависеть от системы агролесоводства, использования древесины в конце жизненного цикла и местных определений исходных условий для оценки. Методологии SOC еще не считаются полностью апробированными или утвержденными для основанных на результатах механизмов агролесоводства.

Общий вывод: существующие экстенсивно управляемые системы агролесоводства находятся под угрозой, и их интенсификация сельского хозяйства рискует увеличить выбросы парниковых газов, поэтому постоянное поддерживающее управление является приоритетом. Внедрение нового агролесоводства в рамках традиционных систем земледелия предлагает потенциал для дополнительных климатических выгод (как для смягчения последствий, так и для адаптации), а также для ряда других экосистемных услуг и услуг биоразнообразия. Однако достижение этих рентабельности требует тщательного выбора подходящих для местных условий систем и предоставления других экологических общественных благ, а не только сокращения выбросов парниковых газов. Для преодоления сопротивления фермеров во многих частях ЕС потребуются значительная консультативная, техническая и предварительная инвестиционная поддержка. Механизмы, основанные на результатах, еще не разработаны и испытаны для агролесоводства и должны учитывать временные рамки, необходимые для реализации всех преимуществ древесного элемента.

Сохранение и увеличение содержания органического углерода в минеральных почвах

Органический углерод почвы (SOC) доказал свою пользу для качества почвы, продуктивности сельского хозяйства, смягчения последствий изменения климата и адаптации к нему. Потенциал секвестрации SOC в ЕС оценивается от 9 Мт (Франк и др., 2015) до 58 Мт CO₂-экв в год (Лугато и др., 2014). Кроме того, поддержание существующих уровней SOC имеет решающее значение, учитывая, что многие минеральные почвы продолжают терять SOC, т.е. предполагаемые ежегодные выбросы ЕС из минеральных почв под пахотными землями составляют 27 млн тCO₂экв, а под лугами - 41 млн тCO₂экв (отчет за 2016 год; ЕС 2019). Исследования и существующие инициативы SOC показывают, что фермеры могут применять ряд методов управления для повышения уровня SOC, включая выращивание покровных культур, улучшение севооборотов, агролесоводство, предотвращение преобразования в пахотные земли, преобразование в пастбища. Многие из этих методов рентабельны. Однако неоднородность почв, климатические условия, существующие уровни SOC и методы управления означают, что вероятность поглощения может значительно варьироваться на уровне фермы и участка.

Влияние на климат: любые действия, которые поддерживают и увеличивают уровни SOC и приносят пользу здоровью почвы.

Мониторинг, отчетность и проверка (MRV): Мониторинг на уровне фермы позволяет количественно оценить улучшение уровней SOC (т CO₂-экв.) Как минимум; механизмы должны демонстрировать шаги, предпринятые для количественной оценки полного баланса ПГ, связанного с управлением почвами (т. е. учитываются выбросы ПГ, связанные с обработкой почвы или внесением удобрений), поскольку секвестрация SOC также имеет компонент выбросов.

Общий вывод: поддержание и секвестрация SOC является важным вариантом смягчения последствий со значительными сопутствующими преимуществами для сельского хозяйства и здоровья экосистем. Высокие затраты MRV и неопределенность, связанная с потенциалом/воздействием поглощения на уровне фермы / поля, создают препятствие для механизмов, ориентированных на результат. Постоянные технологические разработки, увеличение базы знаний (более детализированных потенциалов и воздействий) и практический подход от более активных к гибридным и полностью ориентированным на результаты механизмам могут способствовать развитию механизмов.

Луга

Пастбища покрывают более трети общей площади сельскохозяйственных угодий в Европе и представляют собой значительный накопитель углерода и потенциальный поглотитель в европейском контексте. Однако, в зависимости от управления, модификация или преобразование пастбищ также может привести к значительным выбросам. Помимо воздействия на климат, устойчивое управление пастбищами может предоставить другие важные экосистемные услуги, включая сохранение биоразнообразия и повышение продуктивности почвы и урожайности пастбищ. Эти сопутствующие выгоды являются важными соображениями при разработке инициатив по устойчивому развитию пастбищ.

Влияние на климат: все действия, которые поддерживают и / или увеличивают содержание углерода на пастбищах и не оказывают неблагоприятного воздействия на другие экосистемные услуги, такие как биоразнообразие и социально-экономические услуги.

Мониторинг, отчетность и проверка (MRV): выбор подхода MRV - прямое и/или косвенное измерение SOC с проверкой образцов и/или использование косвенных индикаторов и определенных коэффициентов связывания углерода на основе условий управления - и приемлемый уровень неопределенности, определение уровня, сложность и стоимость настройки MRV. Однако основным принципом остается минимизация

административных расходов и затрат для фермеров, а также повышение удобства использования и прозрачности. Надежная, но реалистичная (т. е. эффективная и не слишком обременительная) MRV будет включать:

- Первоначальные базовые условия для фермерских хозяйств, когда советники по инициативе в диалоге с фермерами устанавливают базовый уровень SOC, согласовывают соответствующие индикаторы (косвенные и/или фактические изменения в SOC) и согласовывает меры управления (факторы связывания углерода) для поддержания/повышения уровней SOC на пастбищах фермы.
- Фермеры осуществляют согласованные меры управления (факторы связывания углерода); вести учет и отправлять отчеты в соответствии с согласованными требованиями к отчетности;
- Ферму посещают не реже двух раз в год, где измеряется состояние факторов секвестрации углерода, обсуждаются возможности и устраняются препятствия;
- Оцениваются уровни секвестрации углерода (на основе вышеизложенного) - указанные показатели и соответствие требованиям) и выплачиваются один раз в год в течение 10 лет существования инициативы.

Общий вывод: Несмотря на проблемы и сомнения в отношении рентабельности и т. д., размер земель под лугами в Европе и общий потенциал дополнительного связывания углерода под лугами, а также предотвращение выбросов с лугопастбищных угодий, преобразованных в пахотные земли, гарантирует изучение вариантов реализации инициатив по улавливанию углерода на пастбищах.

Углеродный аудит в животноводстве

Европейское животноводство, такое как мясные, молочные, овцеводческие и свиноводческие фермы, напрямую генерирует 5,7% выбросов парниковых газов в Европе. Действия по борьбе с изменением климата на фермах могут рентабельно сократить выбросы парниковых газов в животноводстве, например, управление стадом и кормление, удаление отходов животноводства, управление урожаем, потребление удобрений и энергии. Международные исследования и существующие европейские демонстрационные проекты показывают, что, применяя эти меры по борьбе с изменением климата, европейские животноводческие фермы потенциально могут сократить свои выбросы на 12-30% к 2030 году. Механизмы углеродного земледелия на основе результатов предлагают многообещающий способ стимулировать фермеров к принятию эффективных и действенных мер по борьбе с изменением климата на своих фермах, потому что фермерам платят в соответствии с количеством сокращений выбросов парниковых газов,

которых они достигают (т.е. существует прямая связь между их вознаграждением и фактическим воздействием, которое они оказывают на климат). Один многообещающий метод зависит от инструмента углеродного аудита всей фермы - компьютерной модели / программы, которая рассчитывает выбросы парниковых газов на ферме (и другие показатели, такие как азотный баланс, экономические показатели) на основе исходных данных, которые обобщают управление фермой (например, количество и тип животных, тип корма и др.); существующие примеры включают CAP2'ER, Solagro, Cool Farm Tool.

Влияние на климат: любые действия по предотвращению выбросов, которые можно надежно измерить с помощью инструмента аудита. Примечание: исключая связывание или хранение углерода (из-за неопределенности и риска постоянства).

Мониторинг, отчетность и проверка (MRV): Инструмент углеродного аудита на ферме позволяет количественно оценить выбросы парниковых газов на ферме (т CO₂-экв.):

- Шаг 1: Обученные консультанты по сельскому хозяйству посещают ферму и рассчитывают базовый уровень выбросов (и определяют меры по предотвращению выбросов).
- Шаг 2: Фермер выполняет действия и ведет записи.
- Шаг 3: Через пять лет консультант снова посещает ферму, чтобы рассчитать сокращение выбросов за период.

Общий вывод: имеется достаточно знаний, опыта и технических возможностей для разработки ориентированных на результат механизмов углеродного земледелия, чтобы стимулировать сокращение выбросов на европейских животноводческих фермах с использованием инструментов углеродного аудита всей фермы. Однако из-за важности местного контекста не существует универсального подхода. Соответственно, механизмы должны включать постоянную оценку и адаптацию, включая взаимодействие с заинтересованными сторонами, в разработку и внедрение механизмов.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Карбоновый полигон является территориально распределенной научно-исследовательской площадкой, предназначенной для решения двух основных задач: разработки модели для расчета углеродного баланса местности с учетом поглощения и эмиссии локальной экосистемы, и разработки метода использования аэрокосмических данных для отслеживания выбрасываемых и удерживаемых парниковых газов в пределах конкретных биогеоценозов. Это несколько более узкое определение по сравнению с калужским пилотом, так как не включает ряд экспериментальных аспектов деятельности полигона, например, исследований поглощающей способности конкретных видов растений или изучения эффективности различных методов организации карбоновых фермерских хозяйств. Однако, полномасштабный полигон требует значительных финансовых и временных ресурсов, а проведение дополнительных экспериментальных работ характеризуется убывающей отдачей потенциальной ценности получаемой информации по мере роста количества полигонов. Другими словами, если в условном регионе N на полигоне высаживают павловию (с учетом долгосрочного прогноза – на период 7+ лет - в зависимости от продуктивного возраста растения) и выясняют, что это дерево является оптимальным секвестором углерода, то представляется нецелесообразным высаживать ту же павловию на полигоне иного региона, например, КО. Климат, почва и пр. составляющие окружающей среды разные, но не настолько, чтобы полученные результаты имели кардинальное отличие. Более правильным представляется иной подход: создаются крупные полигоны, где изучают все посадки и фермерства, далее полученные данные экстраполируются на КО, или же не используются, в зависимости от климатических условий продуктивности определенных растений. Но так как основная цель полигона - это учет (налоги на экспорт и т.д.), то остановимся на «компактных полигонах».

Точные параметры модельных участков, на которых планируется проведение исследований, будут уточняться по результатам консультации со специалистами биоэкологического профиля. Однако, исходя из примера калужского пилота, можно предварительно определить некоторые критерии, которым должны удовлетворять модельные площади. Во-первых, это должны быть территории, являющиеся характерными представителями основных типов экосистем: луг, болото, лес. И если определение списка изучаемых типов местности относится к гибким переменным и может варьироваться в зависимости от рекомендаций экспертов и/или доступности

соответствующих территорий для научной работы, то условие «модельности» является жестким — если площадка не будет обладать необходимой репрезентативностью (например, по видовому или возрастному составу деревьев), то на ее основе не получится создать достоверную статистическую модель. Во-вторых, исследовательские территории должны быть разнесены в пространстве, чтобы учесть неоднородность климатических условий и различия в составе почвы, которые потенциально могут проявляться в масштабах КО. В-третьих, размер каждого участка должен быть с одной стороны, достаточно большим, чтобы считаться полноценной экосистемой, с другой — относительно компактным, чтобы снизить дисперсию измерений для одинаковых объектов в пределах участка и уменьшить затраты на проведение экспериментальных работ.

В качестве референсного материала по современным методам расчета углеродного баланса была использована соответствующая обзорная статья [12]. Из которой следует, что эталонными по точности измерений являются полевые, подразделяющиеся на разрушающие и без вмешательства в естественный биоцикл. Исходя из специфики полигона, интерес представляет последний тип измерений, выполняемых с использованием аллометрических уравнений. Фактически, это та самая статистическая модель, которая позволяет оценивать уровень секвестирования углерода деревьями по косвенным измерениям: высота, диаметр ствола, размер кроны и т.д. Для определения коэффициентов аллометрических уравнений необходимо предварительно исследовать несколько образцов древесных пород с помощью разрушающих методов: срубить, разделить на отдельные части и изучить их в лаборатории. Схожим образом выводятся и аллометрические уравнения для почвы: коэффициенты, полученные в ходе детального биохимического анализа, используются для оценочных измерений по более общим параметрам в будущем. Для создаваемого полигона предлагается использовать всемирно признанные методики расчетов из рекомендаций Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [13]. Это не только упростит последующую сертификацию полученных аллометрических уравнений, но и редуцирует спектр возможных ошибок в ходе проведения экспериментов до погрешностей в измерениях. Можно отметить, что предположительно недостоверный РОБУЛ был создан на основе именно этих рекомендаций, однако основная проблема с ним заключается не в используемых формулах, а в трудности определения точного количества фитомассы для различных территорий РФ [7, 8].

Проведение наземных измерений является ресурсозатратным процессом и обладает низкой масштабируемостью, а для некоторых труднодоступных районов вовсе не представляется возможным. Основным современным трендом в решении данной проблемы становится использование систем воздушного и космического зондирования. В подобных системах применяются различные типы датчиков (оптические, термические, радиочастотные и т.д.), а сами они имеют разное пространственное (от единиц до сотен метров) и временное (от нескольких часов, до пары недель) разрешение, разнятся в площади охватываемой территории (от единиц до тысяч километров). Многообразие доступных вариантов и присущие каждому из них достоинства и недостатки делают выбор конкретного метода (или их комбинации) аэрокосмического зондирования одним из важнейших в исследовательском протоколе создаваемого карбонового полигона. Учитывая совокупность качественных характеристик и параметров (приведены в референсной статье) предлагается использовать комбинацию из гиперспектральных датчиков (например, один из следующих: AISA Eagle, HYDICE, ALOS) размещаемых на беспилотном летательном аппарате (дрон) и лидарных сенсоров (например, как в проекте Carbon 3D [14]) на борту спутника. Подобное решение отличается максимальной полнотой собираемой информации, сравнительно устойчиво к погодным флуктуациям и позволяет добиться точности порядка 0.9 от эталонных наземных измерений (0.83 для гиперспектральных датчиков и 0.89 для лидара — комбинирование данных повышает точность). Недостатком такого подхода является высокая стоимость и техническая сложность применяемых методов съемки, однако в рамках исследовательского полигона это видится рациональным компромиссом.

В отличие от полевых работ, для аэрокосмического зондирования не существует готовых методик организации исследований, поэтому, при переходе от концепции (настоящий документ) к реализации карбонового полигона в КО, необходимо будет разработать соответствующий протокол. Рекомендуется предусмотреть в нем следующие моменты: все полученные с помощью зондирования данные должны будут сопоставляться с полевыми измерениями, временное разрешение съемки должно обеспечить возмещение погодных флуктуаций, пространственное разрешение должно соответствовать размерам минимальной измеряемой единицы (это не обязательно отдельное дерево, более рациональным может являться учет углеродного баланса для небольшой группы растений, что позволит снизить погрешность дискретных измерений), полоса захвата спутника должна полностью покрывать модельный участок, воздушная съемка над выбранными территориями должна быть доступна и т.д. При надлежащем исполнении

соответствующего протокола и условия, что все съемки будут проводиться согласно его букве, данные аэрокосмического зондирования и результаты полевых исследований смогут использоваться для разработки алгоритмов оценки углеродного баланса без наземных измерений. Вновь обращаясь к опыту калужского пилота, следует сказать, что создание программных решений, отвечающих за математическое моделирование и обработку снимков аэрокосмического зондирования, является наиболее сложной частью всего проекта карбонового полигона [15]. Впрочем, в отсутствие реальных данных, привести какие-либо рекомендации относительно перспективных направлений из области машинного обучения, которые бы в большей мере подходили для решения поставленных задач — не представляется возможным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью создания полигона на территории Калининградской области является разработка комплексного подхода, направленного на сокращение концентрации парниковых газов в атмосфере. Разрабатываемый подход основывается на создании новых и модификации имеющихся экосистем таким образом, чтобы связать углерод в виде органических соединений и минимизировать эмиссию парниковых газов.

Задачи, решаемые с использованием полигона:

1. Разработка и оценка эффективности методик мониторинга текущих уровней (а также эмиссии) парниковых газов.
2. Исследования углеродного баланса экосистем, характерных для Калининградской области, в частности, и России в целом.
3. Исследования потенциала различных видов растений по связыванию углерода на разных этапах их жизненного цикла.
4. Исследования по оценке эффективности возможных мер и практик, направленных на снижения выбросов парниковых газов экосистемами.

Полигон должен включать в себя основные типы экосистем Калининградской области. Обращаясь к мировому опыту, наиболее значимыми подходами в этой области являются:

- Восстановление и повторное заболачивание торфяных болот для ограничения эмиссии парниковых газов

Торфяники, являясь крупнейшим в мире природным хранилищем углерода на суше, играют ключевую роль в борьбе с изменением климата. Кроме того, торфяники секвестрируют углерод, однако скорость этого процесса невелика. Неустойчивое землепользование приводит к деградации торфяников, что ограничивает их способность позитивно влиять на климат. В настоящее время деградированные торфяники выбрасывают 2Гт CO₂ в год и на них приходится почти 5% общемировых антропогенных выбросов CO₂. Восстановление, повторное заболачивание и сохранение торфяников является эффективным подходом в смягчении последствий изменения климата.

- Агроресоводческие технологии по секвестрации углерода

Под агроресоводством понимается практика преднамеренного объединения древесной растительности (деревьев или кустарников) с системами растениеводства и животноводства на одном участке земли. Конкретные технологии в рамках этого направления разнообразны, что обусловлено необходимостью адаптации к конкретным почвам, климатическим условиям и системам ведения сельского хозяйства. Внедрение

агролесоводства в рамках традиционных систем земледелия способствует связыванию углерода в долгосрочной перспективе без увеличения выбросов в краткосрочной, а также положительно влияет на биоразнообразие.

- Поддержание и повышение уровня почвенного органического углерода

Поддержание и повышение уровней почвенного органического углерода может вестись путем выращивания покровных культур, улучшение севооборотов, внедрения агролесоводства, предотвращения распашки земель, организации пастбищ. При этом эффективность конкретных мер может значительно варьироваться в зависимости от климатических условий, структуры почв, текущего уровня почвенного органического углерода. Высокие затраты на мониторинг, а такая неопределенность в эффективности даже на уровне отдельных участков создает препятствие для реального внедрения проектов секвестрации такого типа.

- Оптимизация процессов в сельском хозяйстве и животноводстве

С одной стороны, луга и пастбища занимают большую площадь сельскохозяйственных угодий, что позволяет им естественным образом связывать значительное количество углерода. С другой стороны, проводимые сельскохозяйственные работы (например, в случае переориентации земель в пахотные) могут приводить к значительным выбросам. При этом, помимо воздействия на климат необходимо учитывать проблемы сохранения биоразнообразия и повышения продуктивности почвы и урожайности пастбищ.

Животноводство, такое как мясные, молочные, овцеводческие и свиноводческие фермы вносят ощутимый вклад в совокупную эмиссию парниковых газов в атмосферу. Внедрение технологий по борьбе с изменением климата на фермах (например подбор специальных кормов, обработка и переработка отходов и пр.) может позволить сократить выбросы парниковых газов.

Таким образом, полигон должен содержать на своей территории основные типы экосистем — луг, болото и лес — на которых и будут непосредственно проводиться исследования. При этом, возможно организовать полигон на базе нескольких участков, разнесенных в пространстве, если возникнет такая необходимость. Площадь каждого такого участка не должна достаточно большой для получения достоверных результатов. Согласно мировому и российскому опыту, площадь полигона может варьироваться от десятых долей до единиц квадратных километров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=en
2. https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en
3. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism>
4. <https://econs.online/en/articles/opinions/eu-border-carbon-tax-a-challenge-for-the-russian-economy/>
5. http://cbr.ru/Collection/Collection/File/31582/OFS_20-2.pdf [стр. 82-84]
6. https://www.ng.ru/energy/2020-12-07/12_8033_entrepreneurs.html
7. <https://rg.ru/2021/01/26/chem-grozit-rossii-novyj-uglerodnyj-nalog-es-na-importnuiu-produkciu.html>
8. http://lhi.vniilm.ru/PDF/2016/3/LHI_2016_03-04-Filipchuk.pdf
9. <https://www.ctrl2go.com/press/v-rossii-sozdan-pervyy-karbonovyy-poligon-dlya-razrabotki-i-ispytaniy-tekhnologiy-kontrolya-emissii-/>
10. https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=26691
11. https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/meetings/20171009/Presentations/Forest_Carbon_Farms_Las2017_-_Krzewina.pdf
12. Issa S. et al. A Review of Terrestrial Carbon Assessment Methods Using Geo-Spatial Technologies with Emphasis on Arid Lands //Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 12. – С. 2008. [<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/12/2008/pdf>]
13. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
14. <http://www.carbon3d.uni-jena.de/index.html>
15. <https://www.1d.media/industry/alldigital/7233>

ПРИЛОЖЕНИЕ А. РАБОЧИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНТЕРЕСНЫЕ ССЫЛКИ

В России создан первый карбоновый полигон для разработки и испытаний технологий контроля эмиссии парниковых газов и расчета углеродного баланса территорий. <https://www.ctrl2go.com/press/v-rossii-sozdan-pervyy-karbonovyy-poligon-dlya-razrabotki-i-ispytaniy-tekhnologiy-kontrolya-emissii>

Напали на углеродный след. <https://expert.ru/expert/2020/43/napali-na-uglerodnyij-sled>

«Из страны-бензоколонки в страну большого, красивого леса, который спасает всю планету». Как нам секвестрировать Россию. <http://biotech2030.ru/iz-strany-benzokolonki-v-stranu-bolshogo-krasivogo-lesa-kotoryj-spasaet-vsyu-planetu-kak-nam-sekvestrirovat-rossiyu/>

В России заработал первый полигон для измерения поглощения CO₂. <https://ria.ru/20200922/poligon-1577610520.html>

Выгодные вложения в «воздух». <https://www.1d.media/industry/alldigital/7233>

Обнинск намерен войти в карбоновый проект. <http://ngregion.ru/ekologiyay/karbonovyy-proekt>

Выделение эталонных участков позволит экстраполировать результаты остальную территорию и получить точные данные о поглотительной способности разных типов ландшафтов. <https://ria.ru/20200922/poligon-1577610520.html>

С появлением технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и больших данных стало возможным считать углеродный след или баланс территорий дистанционно — из космоса или с летательных аппаратов. <https://expert.ru/expert/2020/43/napali-na-uglerodnyij-sled/>

Методика расчета карбонового следа, которая применяется сейчас, для нас непрозрачна. Нужна альтернативная схема оценки, которую можно будет предъявить на переговорах нашим партнерам. <https://rg.ru/2020/09/22/reg-cfo/rossijskie-uchenye-nashli-sposob-sdelat-dengi-iz-vozduha.html>

В России создан первый в стране углеродный (карбоновый) полигон для разработки и испытаний технологий дистанционного и наземного контроля эмиссии парниковых газов и других значимых для изменения климата параметров на лесных территориях и сельскохозяйственных землях. Проект реализуется на землях сельскохозяйственного назначения площадью 600 га в Калужской области, расположенных в границах Национального парка «Угра». <https://www.bcg.com/ru-ru/publications/2020/how-an-eu-carbon-border-tax-could-jolt-world-trade>

Although the exact mechanics and timing of a carbon border tax must still be determined and approved by legislators, CEOs should begin preparing now. The requirement to measure, report, and factor in the costs of a product's carbon footprint is already in place in the EU, and it could soon become a requisite for companies that export to Europe as well, contributing to the mounting global pressure to prepare strategies that reduce emissions.

The EU could exempt certain countries that already have similar carbon-pricing schemes in place. It could do so by negotiating new preferential trade agreements or updating existing ones, such as those with Australia, Canada, or Japan. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism>

Немного о финансовых рисках налогов и в приложениях то, что делается для минимизации.

http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/images/resources/pdf_documents/misc37e.pdf

Разные проекты по изучению поглощения углерода (старые).
<https://19january2017snapshot.epa.gov/climatechange/carbon-dioxide-capture-and-sequestration-overview.html>

Закачка углерода в землю как альтернатива биологическим методам.
<https://static1.squarespace.com/static/5c34190f4eddec0845301a20/t/5c620c59c83025158fdea92d/1549929619231/Kondinin+Group+-+The+Business+case+for+Carbon+Farming.pdf>

Все про карбоновые фермы в Австралии (2015).
<https://www.cslforum.org/cslf/Projects/Summaries>

Разные проекты по поглощению углерода (вроде в основном не биологические).
https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/meetings/20171009/Presentations/Forest_Carbon_Farms_Las2017_-_Krzewina.pdf

Польский лесной полигон.
https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf

Российская стратегия по углероду до 2050-го года.
<https://climatescience.ru/pubs/5e7df9a356de83001a7bc8a6>

Методы оценки поглощения углерода лесами с выводом, что принятая схема (РОБУЛ) занижает реальное поглощение примерно на 350 т/г (2016).
<https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5233/pdf/sir2010-5233.pdf>

Американские инструкции по учету биологического поглощения (2010).
<https://rg.ru/2021/01/26/chem-grozit-rossii-novyy-uglerodnyj-nalog-es-na-importnuju-produkciu.html>

Как полигон связан с налогами (суть: сейчас никак, но так как деталей нет, то правительство надеется повлиять на ЕС, чтобы леса пошли в зачет).
https://www.ng.ru/energy/2020-12-07/12_8033_entrepreneurs.html