

Оборудование для карбонового полигона, принципы отбора и назначение.

Для проведения измерений потоков климатически активных (парниковых) газов на карбоновых полигонах предлагается использование комплексного подхода, основанного как на наземных, так и дистанционных методах наблюдений.

Наземные измерения основаны на использовании прямых методов определения потоков парниковых газов (водяного пара, диоксида углерода, метана, закиси азота, и др.), технологиях для определения запасов углерода в почве и надземной и подземной биомассе, а также концентраций растворенного и взвешенного органического и неорганического углерода в почвенных водах и в водной толще. Методы дистанционного исследования подстилающей поверхности предполагают спектрональные и лидарные исследования подстилающей поверхности с помощью оборудования, установленного на борту дронов и малых летательных аппаратов. Дистанционные исследования предполагают также и проведение интерпретации данных спутникового мониторинга. Для обеспечения дистанционных исследований предполагаются дополнительные наземные исследования структуры и свойств растительного (включая оценку запасов надземной и подземной фитомассы, оптических свойств фитоэлементов, и др.) и почвенного покрова.

Основным принципом для выбора ключевых методов и подходов для определения потоков парниковых газов на карбоновых полигонах послужила возможность проведения с помощью выбранных методологий, как прямого так и косвенного определения потоков (эмиссии и поглощения) парниковых газов в разных пространственных и временных масштабах для целей получения интегральных (по времени) значений потоков парниковых газов (день, месяц, год), данных об их внутригодовой и внутрисуточной изменчивости, их пространственной неоднородности и чувствительности к изменению факторов внешней среды.

Для мониторинга метеорологических параметров на полигоне предполагается установка метеорологической станции (стандарта ВМО) для измерения ключевых метеорологических параметров: температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, количества осадков, проходящей суммарной солнечной радиации, температуры и влажности почвы, атмосферного давления. Станция (или станции) устанавливается на открытых участках местности с травянистой растительностью внутри полигона для проведения фоновых наблюдений за метеорологическими параметрами.

Для прямых измерений потоков парниковых газов в природных экосистемах на полигоне планируется использование метода турбулентных пульсаций (eddy covariance) и метода экспозиционных камер (закрытого типа). Автоматические стационарные камеры устанавливаются на поверхности почвы для получения данных о временной изменчивости потоков парниковых газов. Мобильные камеры используются для оценки пространственной изменчивости потоков. Оборудование для пульсационных измерений устанавливается на метеорологических мачтах на выбранных однородных участках с однородным рельефом и структурой растительности (20-40 га) над растительным покровом (на высоте от 3 до 10 - 20 м над верхней границей растительного покрова). Портативные фотосинтетические системы используются для определения параметров фотосинтеза и дыхания фотосинтезирующих частей растений, что необходимо для интерпретации дистанционной информации и результатов пульсационных измерений, а также калибровки математических моделей. Все измерительное оборудование требует бесперебойного энергоснабжения (в том числе с использованием солнечных панелей и батарей), калибровочных газов, и т.д.

Большой комплекс оборудования на полигонах предназначен для количественного определения пулов (запасов) углерода и других химических элементов в растительности и почве, а также для определения изотопного состава образцов воздуха, растительности, почвы и воды. Данное оборудование эффективно для анализа физиологического состояния растений и особенностей биогеохимических процессов в почвах. Оборудование для измерения концентраций растворенного и взвешенного органического и неорганического углерода (DOC, DIC, POC, PIC) позволяет проводить оценки вертикальной миграции (в почве) и латерального стока терригенного углерода в водные экосистемы (вынос за пределы экосистемы), с помощью чего можно провести уточнение поглотительной (углерода) емкости наземных экосистем, полученной в результате пульсационных измерений.

Для проведения дистанционного исследования концентрации и потоков парниковых газов, а также запасов углерода в наземной фитомассе и в почве предполагается использование дронов и малых летательных аппаратов, укомплектованных спектрозональным оборудованием высокого разрешения, лидаром и системой позиционирования GPS (или Глонасс). С их помощью, а также с применением разработанных математических алгоритмов, будет создана методология перехода в определении потоков парниковых газов от локального к региональному масштабу.

Список оборудования, рекомендуемого для установки на карбоновых полигонах (лето 2023 г.)

№п/ п	основная / альтерна- тивная позиция	Наименование оборудования/необходимых компонентов	Производитель, страна	Срок изготовления и поставки, мес.
1.	Метеорологические приборы			
1.1	основная позиция	Метеостанция HydroMet™ Automatic Weather Station AWS 310 (с установкой)	Vaisala, Финляндия	до 5 месяцев
2.	Приборы для измерения потоков климатически активных газов			
2.1	основная позиция	Пульсационная система для измерения потоков парниковых газов (CO₂, CH₄ и H₂O) Eddy Covariance LI-COR	LI-COR, США	до 9 месяцев
		Анемометр цифровой ультразвуковой с нагревателем, модель Multipath Cage Anemometer with Heater	Metek, Германия	
		Газоанализатор CO ₂ /H ₂ O закрытого типа LI-7200RS с модулем воздушного потока	LI-COR, США	
		Газоанализатор CH ₄ открытого типа LI-7700	LI-COR, США	
		Комплект оборудования для крепления приборов, включая штатив для 3 м мачты	LI-COR, США	
		Комплект оборудования для автономного электропитания приборов на солнечных батареях, мощность бесперебойного электропитания 65 Вт, ghb солнечной инсоляции 2 - 3 часа в день	н/д	
		Набор метеорологических датчиков для использования совместно со станциями пульсационных измерений	разные производители	

	альтернативные позиции	Анализатор CO ₂ /H ₂ O открытого типа - LI-7500	LI-COR, США	до 9 месяцев
		Пульсационная система для измерения потоков парниковых газов (CO₂, CH₄ и H₂O) методом вихревых ковариаций (eddy covariance)	МФТИ, Россия	4 месяца
		Газоанализатор CO ₂ /CH ₄ /H ₂ O открытого типа «Ласточка»		
		Анемометр цифровой ультразвуковой		
		Вычислитель вихревого потока «Стриж»		
		Лазерный анализатор закрытого типа Picarro G2311-f для измерения потоков водяного пара, метана и углекислого газа	Picarro, США	Пока нет поставок
Лазерный газоанализатор закрытого типа FAR-citech ZYGHG201 для измерения концентрации и потоков водяного пара, метана и углекислого газа	FAR-citech, Китай			
2.2	основная позиция	Стационарная камерная система для измерения потоков парниковых газов (N₂O, CH₄, CO₂, и H₂O) с поверхности почвы покрытой растительностью, состоящая из:	LI-COR, США	до 9 месяцев
		Светонепроницаемая камера для длительных измерений почвенного газообмена 8200-104		
		Прозрачная камера для длительных измерений почвенного газообмена 8200-104C		
		Мультиплексор для стационарных систем измерения газообмена почв, модель LI-8250-M8		
		Высокочувствительный мобильный газоанализатор CH ₄ /CO ₂ /H ₂ O, модель LI-7810		
		Высокочувствительный мобильный газоанализатор N ₂ O/H ₂ O, модель LI-7820		

	Набор кабелей и трубок для подключения почвенных камер к мультиплексу LI-8250, длина 15 м, максимум 8 комплектов)		
альтернативная позиция	Анализатор закрытого типа G2508 для измерений N2O, CH4, CO2, NH3, and H2O с поверхности почвы покрытой растительностью, включающая:	Picarro, США	Пока нет поставок
альтернативная позиция	Почвенные камеры eosAC или eosAC-LT/LO с мультиплексором для присоединения автоматических прозрачных и непрозрачных камер 72 литра (до 12 камер), датчиками температуры и влажности почвы	Eosense, Канада	
альтернативная позиция	Автоматические почвенные непрозрачные камеры SC-22 с мультиплексором SF-9000 (9 или 18 камер) и датчиками температуры и влажности почвы LI-520A	LICA, Китай	Пока нет поставок
2.3	Мобильная камера с газоанализаторами для проведения измерений потоков парниковых газов с поверхности почвы, состоящая из:	LI-COR, США	до 9 месяцев
	Многофункциональная портативная почвенная камера (d=20 см) с автономным электропитанием для измерения почвенного газообмена, модель Smart Chamber (с набором кабелей и трубок для подключения к газоанализаторам серии LI-78xx)		
	Высокочувствительный мобильный газоанализатор CH4/CO2/H2O, модель LI-7810		
	Высокочувствительный мобильный газоанализатор N2O/H2O, модель LI-7820		
альтернативная позиция	Мобильная система на основе анализатора закрытого типа G4301 (Mobile Gas Concentration Analyzer) для измерений CO2, CH4, and H2O	Picarro, США	Пока нет поставок
	Мобильная камера закрытого типа A0947, GPS система, датчики температуры и влажности почвы		
альтернативная позиция	Мобильная портативная почвенная камера SC-12 (d=20 см) с регистрирующим блоком PS-9000 и датчиком температуры и влажности почвы LI-520A	LICA, Китай	Пока нет поставок

3.	Высотные мачты для установления пульсационного оборудования над высокой растительностью, бесперебойное энергообеспечение (в том числе на базе солнечных батарей), калибровочные газы и т.д.			
	Разборная метеорологическая мачта с высотой до 50 м	Layher, Германия	1-2 месяца	
4.	Системы для дистанционного зондирования подстилающей поверхности на базе дронов, укомплектованные спектрональным оборудованием высокого разрешения и системой позиционирования GPS (или Глонасс)			
4.1	основная позиция	Беспилотный комплекс для аэрофотосъемки Геоскан 401 Лидар, состоящий из: - БВС Геоскан 401 - Лазерный сканер АГМ-МС 1.200 с инерциальной системой ПС.М-33 - ПО для работы с данными с лазерного сканера ScanWorks Base - Консультация по работе с данными лазерного сканирования - 2АКБ для Геоскан 401 - AGM PosWorks Web подписка на 12 месяцев Фотоаппарат Sony ILCE-6000 с креплением к АГМ-МС Двухосевой подвес с модернизированным фотоаппаратом Sony DSC-RX1RM2 GNSS приемник Topcon L1/L2 (для фотоаппарата Sony DSC-RX1RM2) Дополнительная аккумуляторная батарея Фотограмметрическое программное обеспечение AgiSoft Metashape Professional	Россия	1-3 месяца
	альтернативная позиция	Беспилотный комплекс для аэрофотосъемки Геоскан 401 Лидар, состоящий из: - БВС Геоскан 401 - Лазерный сканер АГМ-МС 3.200		

		<p>Двухосевой подвес с модернизированным фотоаппаратом Sony DSC-RX1RM2</p> <p>GNSS приемник Topcon L1/L2 (для фотоаппарата Sony DSC-RX1RM2)</p> <p>- ПО для работы с данными с лазерного сканера - ScanWorks Pro - Консультация по работе с данными лазерного сканирования</p> <p>2АКБ для Геоскан 401</p> <p>- Фотоаппарат Sony ILCE-6000 с креплением к АГМ-МС</p> <p>Дополнительная аккумуляторная батарея</p> <p>Фотограмметрическое программное обеспечение AgiSoft Metashape Professional</p>		
4.2	основная позиция	<p>Беспилотный комплекс для аэрофотосъемки Геоскан 401, состоящий из:</p> <p>Геоскан 401 без полезной нагрузки</p> <p>Мультиспектральная камера с подвесом для БВС</p> <p>Фотограмметрическое программное обеспечение AgiSoft Metashape Professional</p> <p>Дополнительная аккумуляторная батарея</p>	Геоскан, Россия	1-3 месяца
5.	Оборудование для наземных определений характеристик и свойств растительности, химического анализа образцов воздуха, растительности, почвы и воды			
	Оборудование для проведения экофизиологических исследований (процессы водо- и газообмена на уровне дерева/растения)			
5.1	основная позиция	<p>Портативная фотосинтетическая система для измерения фотосинтеза и дыхания элементов растительности LI-6800 (в комплекте с источником освещения, рабочей камерой 3 × 3 см и аксессуарами)</p>	LI-COR, США	до 4 месяцев

5.2	основная позиция	Анализатор площади проективного покрытия (измерения листового индекса) модель LAI-2200C	LI-COR, США	до 9 месяцев
5.3	основная позиция	Лазерный анализатор Picarro G2201-i для определения изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ для CO_2 и CH_4 в воздухе	Picarro, США	Пока нет поставок
5.4	основная позиция	Газовый хроматограф для измерения газовых компонент в лабораторных условиях	Разные производители	-
6	Оборудование для определения содержания С и N в почве и растительности (определение пулов элементов в наземных экосистемах), а также их изотопного состава (анализ физиологического состояния растений / особенностей биогеохимических процессов в почвах)			
6.1	основная позиция	Элементный анализатор CN	NC Technologies, Italy	до 5 месяцев
6.2	основная позиция	Оборудование для измерения содержания стабильных изотопов ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) в растительности и почве	NC Technologies, Italy	до 5 месяцев
7	Оборудование для измерения концентраций растворенного и взвешенного органического и неорганического углерода (DOC, DIC, POC, PIC) – оценка вертикальной миграции (в почве) и латерального стока терригенного углерода в водные экосистемы (вынос за пределы ландшафта – уточняет величины поглотительной емкости наземных экосистем, полученных в результате пульсационных измерений)			
8	Оборудование для измерения дополнительных метеорологических и гидрологических параметров			
8.2	основная позиция	Системы для дистанционного измерения профилей температуры, влажности и ветра: над земной поверхностью (Содар + МТП 5)	НПО "АТТЕХ", Россия	3 месяца
8.3	основная позиция	Уровнемеры воды (необходимы при анализе латерального экспорта – надо знать расходы воды)	Напр. НОВО U20L-04 (Onset Corp. США)	3-4 месяца