

МЕТОДЫ СЪЕМКИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА

Костык В.А.,

*ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток
ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

Аннотация. Карбоновые полигоны являются ключевыми исследовательскими площадками для развития технологий, способных влиять на климатические изменения. В процессах принятия решений на государственном уровне часто учитываются результаты исследований в подобных климатических проектах. Тихоокеанская Россия активно развивается, в том числе в направлении управления климатическими рисками. С 2022 года в Приморском крае функционирует Дальневосточный карбоновый полигон, который имеет несколько площадок, в этой работе рассмотрены две из них (б. Аякс, б. Киевка). Автор описывает ключевые направления по сканированию площадок полигона, приборную базу, возможности применения полученных результатов.

Ключевые слова: *карбоновый полигон, сканирование местности, биомасса, запасы углерода, климатический проект, лидар, дистанционное зондирование земли, аэрофотосъемка*

METHODS OF REMOTE SENSING OF THE FAR EASTERN CARBON POLYGON AND NEW OPPORTUNITIES FOR ASSESSING CARBON RESERVES

Kostyk V.A.,

*Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok
Far Eastern Federal University, Vladivostok*

Annotation. Carbon polygons are key research sites for the development of technologies that can influence climate change. The results of research in such climate projects are often taken into account in decision-making processes at the state level. Pacific Russia is actively developing, including in the direction of climate risk management. Since 2022, the Far Eastern Carbon Polygon has been operating in Primorsky Krai, which has several sites, and this paper discusses two of them (b. Ajax, b. Kievka). The author describes the key areas for scanning the polygon sites, the instrument base, and the possibilities for using the obtained results

Keywords: *carbon polygon, terrain scanning, biomass, carbon reserves, climate project, lidar, remote sensing of the earth, aerial photography*

Введение. Общеизвестно, что за прошедший век уровень выбросов углекислого газа значительно вырос, оказывая негативное воздействие на климат планеты и экологическое состояние окружающей среды [1]. Благодаря процессу фотосинтеза наземные экосистемы успешно снижают концентрацию CO₂ в атмосфере. Наибольшее значение среди природных резервуаров углерода имеет лесной массив, играющий ключевую роль в регулировании глобальных потоков углерода и смягчении последствий климатических изменений. Поэтому крайне важно оперативно и точно оценивать запасы углерода, что позволит принимать обоснованные решения по климатической повестке. Карбоновые полигоны [2] представляют собой площадки, предназначенные для тщательного исследования процессов газообмена и оценки возможностей экосистем поглощать и выделять парниковые газы. С 2022 года в Приморском крае функционирует один из девятнадцати полигонов - Дальневосточный

карбоновый полигон, который расположен на 4 площадках в бухтах Японского моря, производит комплексные исследования газообмена между морем, атмосферой, почвой, растительностью. Такие климатические проекты охватывают изучение отдельных элементов ландшафта, таких как почва, болотистые территории, водоемы и растительный покров, включая лесные массивы. На современном этапе развития исследователи используют широкий список приборов, которые помогают комплексному изучению экосистем.

Методы и материалы. Активное применение методов съемки площадок началось в б. Киевка и б. Аякс. Впервые на карбоновых полигонах выполнено мобильное наземное лазерное сканирование (НЛС) с помощью LiGrip H300 [3]. Прибор представляет собой рюкзак с установленной антенной для ГНСС позиционирования и установкой для лазерного сканирования, в режиме реального времени отображающегося у оператора на пульте управления. Сканирование местности может производиться одним человеком с ограничением по времени, связанным с зарядом батареи. Оператор подбирает оптимальный маршрут для сканирования в зависимости от задач, степени знакомства с местностью и ограничений в рельефе. В результате съемки выгружается облако точек. Для обработки используется ПО Lidar360 [4].

Воздушное лазерное сканирование производится беспилотным летательным аппаратом DJI Matrice 300 RTK с полезной нагрузкой Zenmuse L1 [5]. Промышленный квадрокоптер способен выполнять съемку на высотах более 100 метров, лазерный сканер Zenmuse L1 во время полета фиксирует до трех эко-сигналов формируя плотное облако точек. Оператор заранее формирует полетное задание для получения корректного и равномерного облака точек каждого полигона. Обработка облаков точек происходит в ПО DJI Terra [6].

Мультиспектральная аэрофотосъемка выполняется беспилотным аппаратом DJI Mavic 3 Multispectral [7]. Миниатюрный квадрокоптер выполняет съемку преимущественно на высотах до 100 метров. Во время полета происходит процесс фотографирования местности обычной фотокамерой и модулем с отдельными спектрами. Оператор заранее формирует полетное задание согласно плану съемки, традиционно параметры продольного и поперечного перекрытия фотоснимков принимаются за 70% и 30% соответственно. В результате съемки получается набор фотоснимков. Фотограмметрическая обработка выполняется в ПО Agisoft Metashape [8]. Обобщение всех полученных результатов происходит в ПО QGIS [9].

Стоит отметить, что указанные виды работ являются существенным дополнением к общему перечню геохимических, гидрохимических, биологических, экологических, географических, аналитических работ. Новыми направлениями являются сканирование корней и картирование газов в приземной атмосфере.

Результаты и их обсуждение. В результате проведения разноплановых съемок на Дальневосточном карбоновом полигоне, с помощью описанных приборов и методов, получены цифровые материалы, используемые для задач количественной и качественной оценки объектов. Например, мультиспектральный ортофотоплан после классификации преобразуется в карту землепользования, в общем виде используется как подложка для нанесения слоев, в усложненной обработке способен отобразить индексы влажности или вегетации, а также определить породу дерева. Облако точек, полученное с наземного лазерного сканера, окрашивается в естественные цвета и без усложненной обработки представляет собой трехмерную модель отснятой территории. При глубокой обработке, в том числе методами машинного обучения, из облака можно получить количественную информацию о растительном покрове, наивысшее качество информации присваивается деревьям. Воздушное лазерное сканирование позволяет подробно оценить кроны деревьев и общий рельеф местности. При комбинации с наземным лазерным сканированием функционал облака точек расширяется. При общем рассмотрении полученных материалов исследователи наполняют полигоны по слоям: рельеф, низкая растительность (до 50 см), средняя

растительность (до 2 м), деревья (до 20 м), общий фотоплан местности с разрешением 2 см на пиксель. Отмечается высокая детальность воспроизведения структуры леса и морской травы.

Таким образом, полученные данные способны уточнять оценки биомассы в лесном покрове не только для отдельных участков леса, но и на уровне отдельных деревьев, что выводит исследования на новый уровень. Благодаря разработанным методиками пересчета биомассы в углерод оценка запасов углекислого газа в деревьях уточняет известные показатели. Главным преимуществом методов является их удаленное воздействие на предметы и получение исчерпывающей количественной информации о дереве, при сравнении с традиционным способом оценки биомассы по срубленному и взвешенному дереву.

Заключение

Дальневосточный карбоновый полигон является передовиком в сфере наземного и воздушного сканирования площадок. Использование нескольких типов воздушной съемки и наземного мобильного сканирования позволяет получать детальную информацию о объектах, влияющих на газообмен и уточнять имеющиеся справочные данные. Картографирование территории является важной стратегической задачей, с которой успешно справляются указанные методы. Перспективными направлениями являются: сканирование корней и картирование газов в приземной атмосфере. Именно комбинация различных методов съемки способны выявить либо визуализировать взаимосвязи между компонентами экосистем, которые влияют на эмиссию парниковых газов.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2026-0020 «Оценка ресурсного потенциала прибрежно-морских экосистем»

Литература

1. R. Hember, W. Kurz, Low tree-growth elasticity of forest biomass indicated by an individual-based model. *Forests* 2018, 9, 21. <https://doi.org/10.3390/f9010021>.
2. Дальневосточный Карбоновый полигон. 2024. URL: <https://carbon-polygons.ru/polygons/karbonovuyij-poligon-v-primorskom-krae>.
3. Green Valley International. LiGrip H300. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.greenvalleyintl.com/LiGripH300> (дата обращения: 01.02.2026).
4. Green Valley International. LiDAR360. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.greenvalleyintl.com/LiDAR360> (дата обращения: 01.02.2026).
5. DJI. Zenmuse L1. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.dji.com/ru/support/product/zenmuse-l1> (дата обращения: 01.02.2026).
6. DJI Enterprise. DJI Terra. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://enterprise.dji.com/ru/dji-terra> (дата обращения: 01.02.2026).
7. DJI Russia. Mavic 3 Multispectral. Электронный ресурс. Режим доступа: https://djirusia.ru/mavic-3_multispectral?ysclid=mm5tagj1tx710296434 (дата обращения: 01.01.2025).
8. Agisoft. Сайт компании Agisoft. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.agisoft.com/ru> (дата обращения: 01.02.2026).
9. QGIS. Официальный веб-сайт QGIS. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://qgis.org> (дата обращения: 01.02.2026).