

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ / LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9>

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ CO₂, CH₄ И ЗАПЫЛЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ НАД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ УГОДЬЯМИ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

Научная статья

Бояров Е.Н.^{1,*}, Абрамова С.В.², Соболев А.Ю.³

¹ ORCID : 0000-0001-7283-1872;

² ORCID : 0000-0002-9863-5287;

³ ORCID : 0000-0002-8733-3785;

^{1, 2, 3} Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (e.boyarov[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье представлена технология проведения дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения Сахалинской области с целью выявления значений экологических показателей. В рамках исследования была проведена лонгитюдная оценка концентрации CO₂, CH₄, а также запыленности воздуха с целью выявления веществ, оказывающих воздействие на качественное состояние сельскохозяйственных культур. Выявлены средние, максимальные и минимальные значения концентрации CO₂, CH₄, а также концентрации пыли в различных точках в пределах участка наблюдения. Определено, что значительные изменения концентрации как метана, так и пыли зависят от времени и местоположения, при этом взаимосвязь данных параметров по значениям корреляции слабая. Применяемая технология отбора и анализа проб показала свою эффективность, но для более полного понимания ситуации перспективным является проведение более масштабных и длительных дополнительных исследований в различных локациях, а также лонгитюдный анализ связи между концентрацией CO₂, CH₄, а также концентрации пыли.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, БПЛА, экологические параметры, цифровые датчики.

AN ASSESSMENT OF THE LEVELS OF CO₂, CFN₄ AND ATMOSPHERIC DUST OVER AGRICULTURAL LANDS IN SAKHALIN OBLAST USING UAV

Research article

Boyarov E.N.^{1,*}, Abramova S.V.², Sobolev A.Y.³

¹ ORCID : 0000-0001-7283-1872;

² ORCID : 0000-0002-9863-5287;

³ ORCID : 0000-0002-8733-3785;

^{1, 2, 3} Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

* Corresponding author (e.boyarov[at]mail.ru)

Abstract

This article presents the technology of remote monitoring of agricultural land in Sakhalin Oblast in order to identify the values of environmental indicators. As part of the study, a longitudinal evaluation of CO₂, CH₄ concentration, as well as air pollution was carried out in order to identify substances that affect the quality condition of agricultural crops. Average, maximum and minimum values of CO₂, CH₄ and dust concentrations at different points within the observation area were determined. It was found that significant changes in the concentration of both methane and dust depend on time and location, and the correlation between these parameters is weak. The applied technology of sampling and analysis has shown its efficiency, but for a more complete understanding of the situation it is promising to conduct larger and longer additional studies in different locations, as well as longitudinal analyses of the relationship between CO₂, CH₄ and dust concentration.

Keywords: remote monitoring, UAV, environmental parameters, digital sensors.

Введение

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в анализе качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологическом мониторинге является существенной инновацией, изменяющей подходы к современному аграрному управлению и экологическому контролю. В условиях современных вызовов, таких как климатические изменения, ограниченность ресурсов и потребность в устойчивом развитии, методика мониторинга окружающей среды, основанная на БПЛА, становится ключевой в оптимизации производственных процессов и повышении устойчивости сельскохозяйственной деятельности [1].

Суть данного подхода заключается в использовании автоматизированных систем на основе БПЛА для сбора и анализа данных с разнообразных сенсоров. Это обеспечивает высокую разрешающую способность и пространственную точность в мониторинге сельскохозяйственных угодий [2]. Современные цифровые датчики, такие как мультиспектральные и гиперспектральные камеры, термальные сенсоры и датчики влажности почвы, интегрируются в систему, что позволяет оценивать плотность растительности, уровень урожайности, влажность почвы и наличие вредителей сельского хозяйства.

Однако особое значение в данном контексте имеет синергия между аналитическими функциями системы и алгоритмами обработки данных. Это позволяет автоматизировать сбор, анализ и интерпретацию данных, ускоряя

процесс принятия решений и уменьшая роль человека. Важным компонентом методологии является создание надежных моделей на базе систем регулярного дистанционного мониторинга, в том числе, и на базе БПЛА, что способствует выявлению аномалий и тенденций в состоянии сельскохозяйственных угодий. Это также соотносится с необходимостью регулярного наблюдения за такими показателями атмосферного воздуха над сельскохозяйственными угодьями, как CO_2 , CH_4 и запыленность [7].

Так, CO_2 является одним из ключевых газов, способствующих парниковому эффекту и изменению климата. Однако он также играет важную роль в фотосинтезе растений. Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере может способствовать повышению скорости фотосинтеза, что в свою очередь может привести к увеличению роста и урожайности сельскохозяйственных культур [5]. Однако этот положительный эффект может ограничиваться недостатком других ресурсов, таких как вода и питательные вещества. CH_4 , известный как метан, является более мощным парниковым газом по сравнению с CO_2 [1]. Его выбросы связаны в основном с животноводством, рисоводством и другими процессами. Воздействие метана на сельскохозяйственные культуры не так прямолинейно, как в случае CO_2 . Высокие концентрации метана в почве могут негативно влиять на корневую систему растений, ухудшая почвенную структуру и доступность кислорода.

Атмосферная пыль может содержать различные частицы, включая песок, минералы, микроорганизмы и химические соединения. Пыль может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на сельскохозяйственные культуры. С одной стороны, пыль может служить источником питательных веществ для почвы, а также защищать растения от солнечного излучения. С другой стороны, избыточное скопление пыли на растениях может затруднить их фотосинтетический процесс, а также способствовать распространению вредителей и болезней [9].

Таким образом, на основе существующих общепризнанных и авторских методик, в том числе, с применением БПЛА, представляется необходимым провести оценку концентрации CO_2 , CH_4 , а также запыленности воздуха с целью выявления веществ, способных оказывать воздействие на качественное состояние сельскохозяйственных культур [10], [11], [12].

Район исследования, методы и принципы

Сельскохозяйственные земли Сахалинской области обладают своими особенностями и характеристиками. Климат области субарктический, с влиянием морских ветров и океанских воздушных масс. Зимы довольно холодные и снежные, а лета прохладные. Сезон роста растений короткий из-за недолгого теплого периода. Почвы Сахалинской области разнообразны и варьируются в зависимости от рельефа и геологических особенностей. Встречаются грунты разных типов, включая торфяные, болотные, глинистые, песчаные и другие. Остров обладает разнообразной топографией, включая горные районы, холмистые местности и равнины. Это влияет на возможность использования земель для сельского хозяйства. Учитывая климатические особенности, на Сахалине часто выращивают холодостойкие и адаптированные к короткому лету культуры, такие как картофель, редис, горох и некоторые виды ягод. Короткий сезон роста, ограниченные ресурсы и климатические ограничения могут создавать сложности для развития сельского хозяйства [3]. Тем не менее современные агротехники и технологии могут частично компенсировать эти ограничения. Естественное загрязнение воздуха в Сахалинской области, в целом, вызвано природными процессами, к которым относятся вулканическая деятельность, выветривание горных пород, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных пожаров и др. [4].

Рассматриваемый участок дистанционного наблюдения расположен в пределах Южно-Сахалинской агломерации в северо-западной части города на северо-восточной границе н.п. Ключи (границы участка 47.107243, 142.679472; 47.103258, 142.682562). Район измерений был выбран исходя из временных ограничений на зоны полетов БПЛА, действующих на основании Указа Губернатора Сахалинской области от 25.04.2023 № 18 «Об использовании беспилотных воздушных судов на территории Сахалинской области» и в соответствии с Картой разрешённых зон, где можно пользоваться беспилотными летательными аппаратами (<https://map.sakhalin.gov.ru/minarch>).

В данном исследовании средствами дистанционного мониторинга с помощью БПЛА, оснащенного специальными цифровыми датчиками, на высоте 3 метра над уровнем поверхности, осуществлялись замеры концентраций CO_2 , CH_4 , а также запыленности воздуха с целью выявления концентраций веществ, оказывающих воздействие на качественное состояние сельскохозяйственных культур. Для этого были выбраны 36 точек замера, географические координаты которые условно кодировались в виде двумерной матрицы размерностью 6. При этом, каждому значению матрицы соответствовали географические координаты $M[i, j]$; $i = 1..6$, $j = 1..6$. На рисунке 1 представлена обобщенная карта с указанием местоположения участка измерений и план измерений с нанесенными точками осуществления замеров.



Рисунок 1 - Карта замера показателей
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.1>

Сбор данных проводился в период с 13.05.2023 по 11.08.2023 с периодичностью 1 раз в месяц. Для сбора данных применялось следующее оборудование: БПЛА вертолетного типа DJI Mavic 3 с подвесом, обеспечивающим удержание микрокомпьютера Raspberry Pi с набором цифровых датчиков: инфракрасный датчик MH-Z19 (измерение CO_2 в пределах 0–2000 ppm, точность измерения $\pm (50\text{ppm}+5\%)$); датчик типа MICS-5524 (измерение CH_4 в пределах 1–50 ppm, точность измерения $\pm (0,1\text{ ppm}+5\%)$); датчик типа GP2Y1010AU0F (измерение количества пыли в воздухе в пределах 0–500 мкг/м^3 точность измерения 0.1 мг/м^3). Поскольку применяемые датчики малогабаритные, бытового назначения, показания датчиков калибровались в наземных лабораторных условиях газоанализатором типа МАГ-6 П-Д (CH_4 , CO_2). Выявленные пределы основной погрешности составили не более 2,5 % от максимального диапазона, что не явилось критичным для нашего исследования.

Выбор БПЛА был обусловлен его грузоподъемностью (максимальный полетный вес 1050 грамм), требуемой для переноса навесного оборудования (масса без оборудования: 895 грамм, масса оборудования: 150 грамм), а также максимальным временем полета до 46 мин и точностью зависания $\pm 0,1$ м по вертикали с визуальным позиционированием. Управление БПЛА производилось в непосредственной близости от измеряемого участка с пульта типа DJI RC, обеспечивающего максимальное дистанционное управление на расстоянии до 15 км с передачей видеоизображения для непосредственного позиционирования. С учетом условий Сахалинской области, а также учитывая временные ограничения на высоту полета и разрешенных зон полета, оптимальный радиус полета для дистанционного управления был выбран в 1 км.

Полученные данные кодировались (в соответствии с кодировочной двухмерной матрицей размерности 6x6), обрабатывались в специально разработанном программном продукте, обеспечивающем согласование значений датчиков и непрерывность получения данных [5], [6]. Затем данные записывались в специальную разработанную базу данных для последующего анализа [7], [8]. Тем самым, был получен многомерный массив данных, включающий следующие поля: дата измерения, код точки замера, значения показателя (CO_2 , CH_4 , атмосферная пыль). Соответственно, интеграция датчиков с системой мониторинга на базе БПЛА и Raspberry Pi позволяет реализовать экологический мониторинг отдельных показателей сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенного исследования было определено, что наиболее оптимальным способом оперативного получения объективной информации о содержании CO_2 , CH_4 и пыли в наземном слое воздуха является применение технологии аэромониторинга на основе БПЛА.

Схематично применение БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области отражено в модели, изображенной на рис. 2.

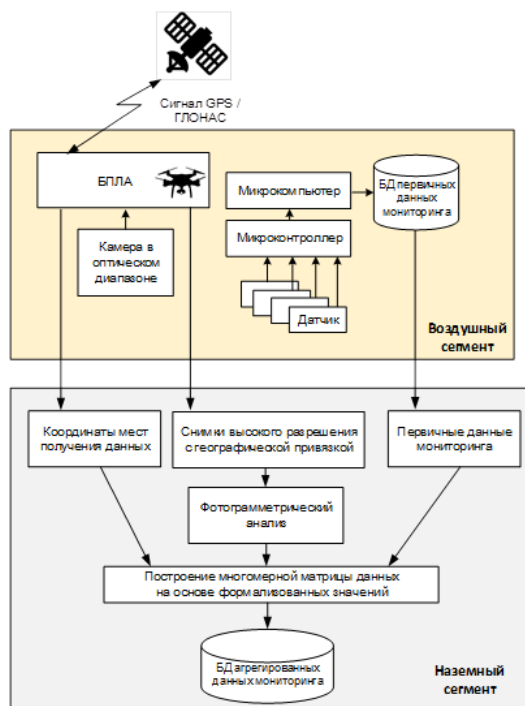


Рисунок 2 - Модель применение БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.2>

Полученные в результате мониторинга данные представляют нормализованные концентрации CO_2 , CH_4 , атмосферной пыли в различных точках наблюдения и на разные даты, которые записывались в многомерный массив-матрицу вида (1):

$$M_{(x,y,d)} = ([CO_2_{(x,y)}; Date_d], [CH_4_{(x,y)}; Date_d], [Dust_{(x,y)}; Date_d]), \quad (1)$$

где: $CO_2_{(x,y)}$, $CH_4_{(x,y)}$, $Dust_{(x,y)}$ – двумерные матрицы значений концентраций CO_2 , CH_4 и атмосферной пыли на конкретную дату в заданных координатах, $M_{(x,y,d)}$ – многомерная итоговая матрица значений.

Статистический анализ полученных данных позволил выявить следующие факты.

Для значений концентрации CO_2 в мае (13.05.2023), самый высокий уровень CO_2 (449 ppm) наблюдается в точке 44, в то время как самый низкий уровень (401) зафиксирован в точке 34. В июне (12.06.2023), наибольший уровень CO_2 (405 ppm) наблюдается в точках 24 и 32, а наименьший (370 ppm) – в точке 13. В июле (12.07.2023), максимальное значение CO_2 (453 ppm) отмечено в точке 24, в то время как минимальное (384 ppm) зафиксировано в точке 45. В августе (11.08.2023), самый высокий уровень CO_2 (459 ppm) наблюдается в точке 32, а самый низкий (390 ppm) – в точке 46.

Из представленного анализа видно, что концентрация CO_2 в разных точках наблюдения имеют разные паттерны изменений в течение времени. Также стоит отметить, что наблюдаются некоторые колебания в концентрации CO_2 между разными точками наблюдения, что может указывать на разнообразие источников выбросов CO_2 в данной области, выявление которых потребует дополнительных научных исследований и обоснований. Вместе с тем следует отметить, что полученные значения концентрации CO_2 в опытном районе, в целом, соответствуют среднему значению концентрации CO_2 по Сахалинской области (414 ppm) [4].

Концентрация метана варьируется в зависимости от даты мониторинга. Максимальные и минимальные значения могут изменяться на протяжении времени. Средние значения колеблются в диапазоне от приблизительно 1,25 ppm до 1,45 ppm. При этом, наибольшие значения CH_4 наблюдаются 11 августа 2023 года (до 1,46 ppm). Наименьшие значения CH_4 наблюдаются 12 июня 2023 года (не более 1,23 ppm). В целом, средние концентрации метана колеблются от приблизительно 1,28 ppm до 1,45 ppm. Таким образом, в отношении к метану, его средние концентрации ниже среднемирового значения в 1,8 ppm [4].

Концентрация пыли также меняется в зависимости от даты мониторинга и точки наблюдения. Максимальные значения ее концентрации наблюдаются 12 июня 2023 года (87 г/м³). Минимальные значения фиксируются 13 мая 2023 года (52 г/м³). Средние значения концентрации пыли варьируются от приблизительно 56 г/м³ до 79 г/м³. Отметим, что исследование запыленности поверхностного приземного слоя воздуха до настоящего времени не проводилось.

Для более полного понимания ситуации следует провести дополнительные исследования, а также анализировать связи между уровнями CO_2 и другими факторами.

Обобщенные значения концентраций CO_2 , CH_4 и атмосферной пыли представлены на графике на рис. 3, 4, 5 соответственно.

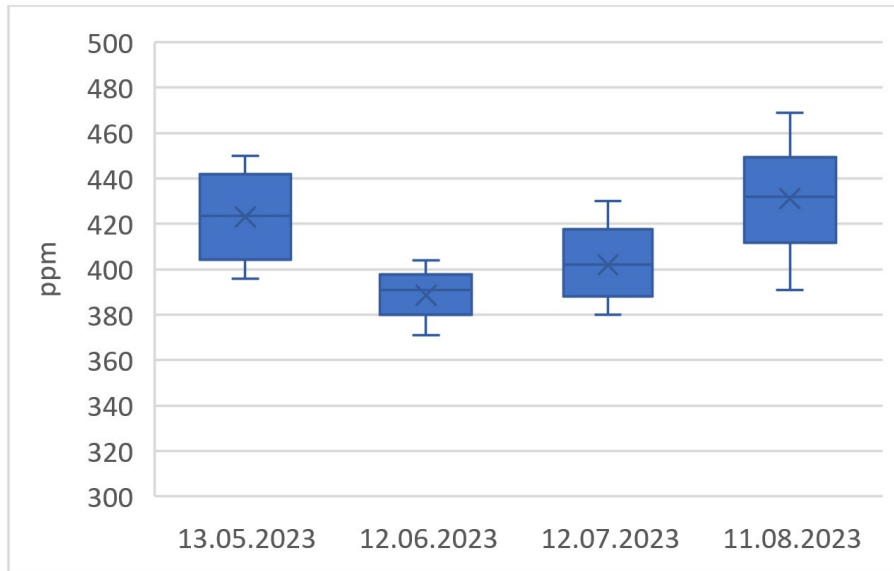


Рисунок 3 - Пределы изменения концентраций CO₂ в различные периоды наблюдений
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.3>

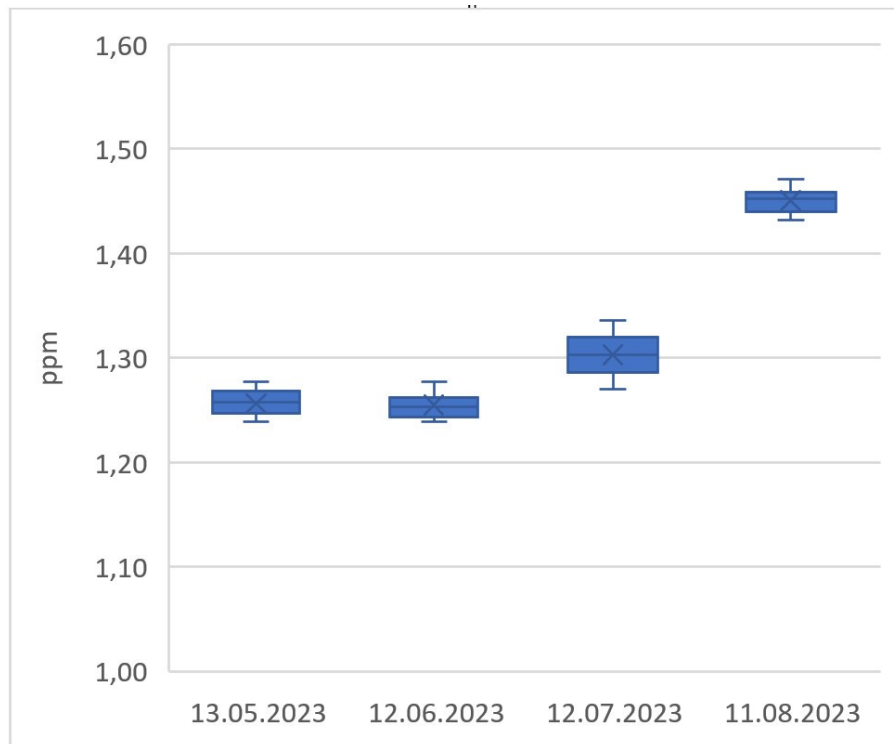


Рисунок 4 - Пределы изменения концентраций CH₄ в различные периоды наблюдений
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.4>

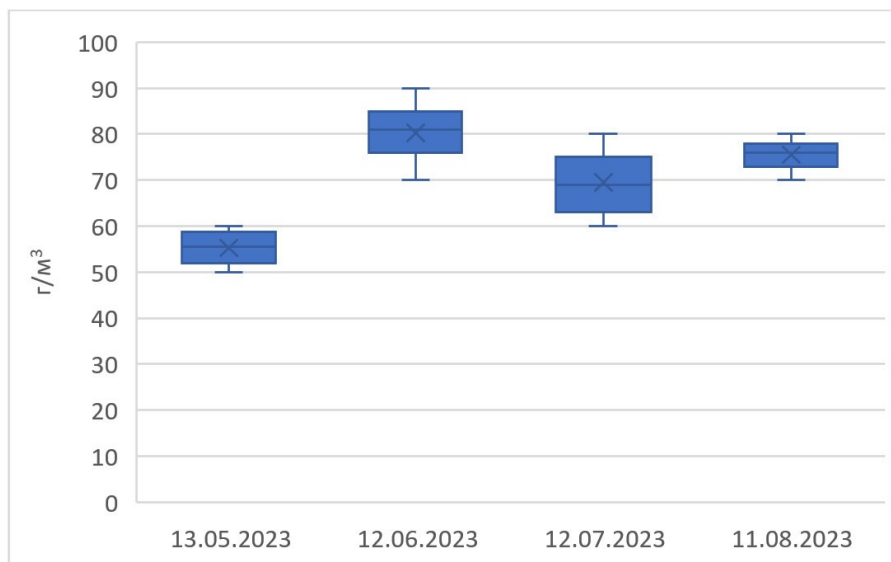


Рисунок 5 - Пределы изменения концентраций пыли в различные периоды наблюдений
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.5>

В исследовании нами проводился корреляционный анализ полученных данных, в ходе которого сравнивались значения в каждый временной интервал в различных точках измерения ($i = 1 \dots 36$). Тем самым было выявлено, что в мае (13.05.2023), наблюдается незначительная положительная корреляция (0,381) между уровнем CO_2 и запыленностью, и слабая отрицательная корреляция (-0,176) между CO_2 и CH_4 .

В июне (12.06.2023), также имеется небольшая положительная корреляция (0,237) между CO_2 и запыленностью, а также слабая отрицательная корреляция (-0,206) между CO_2 и CH_4 . В июле (12.07.2023), корреляция между CO_2 и запыленностью слабо положительная (0,203), а между CO_2 и CH_4 также слабо отрицательная (-0,092). В августе (11.08.2023), корреляция между CO_2 и запыленностью остается слабой положительной (0,256), а между CO_2 и CH_4 также слабо отрицательная (-0,097).

При этом, во всех случаях наблюдается слабая положительная корреляция между концентрацией CO_2 и запыленностью, а также слабая положительная корреляция между CH_4 и запыленностью. Корреляция между концентрацией CO_2 и CH_4 варьируется от слабой отрицательной до слабой положительной.

В обобщенном графическом виде диаграммы корреляций представлены на рис. 6.

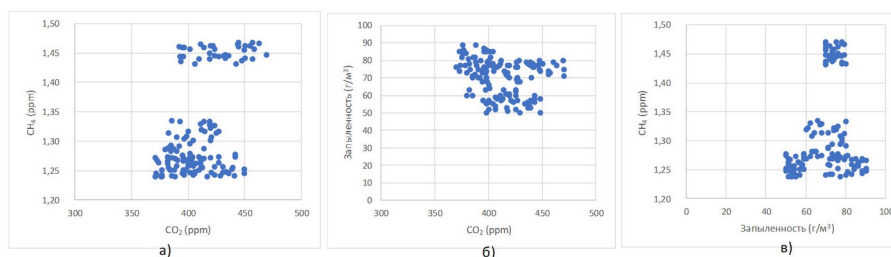


Рисунок 6 - Диаграммы корреляций значений CO_2 , CH_4 и запыленности
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.6>

Примечание: а) CO_2 и CH_4 ; б) CO_2 и пыль; в) пыль и CH_4

Для проведения статистического анализа данных мониторинга концентраций CO_2 , CH_4 и запыленности, были рассчитаны среднее, стандартное отклонение, а также коэффициент корреляции между этими переменными, который позволяет выявить некоторые закономерности в данных мониторинга. Например, средняя концентрация CO_2 и величина запыленности в августе выше, чем в остальные месяцы, а концентрация CH_4 имеет схожую тенденцию. Коэффициенты корреляции показывают слабую связь между этими переменными (см. табл. 1), что также подтверждается материалами диаграмм на рис. 6.

Таблица 1 - Соотношения коэффициента корреляции в различные периоды наблюдения

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.37.9.7>

Период измерения	Коэффициент корреляции между значениями
------------------	---

	CO ₂ и CH ₄	CO ₂ и запыленность	CH ₄ и запыленность
Май	-0,176	0,381	0,180
Июнь	-0,206	0,237	0,270
Июль	-0,092	0,203	0,143
Август	-0,097	0,256	0,063

Заключение

В ходе исследования на основе данных дистанционного мониторинга с применением БПЛА был проведен анализ экологических показателей отдельных сельскохозяйственных угодий Сахалинской области. Были выявлены актуальные значения концентраций CO₂ и CH₄, а также концентрация пыли непосредственно над уровнем земли. Общий анализ показывает, что значение концентрации CO₂ в опытном районе, в целом, соответствуют среднему значению концентрации CO₂ по Сахалинской области (414 ppm), однако максимальные и минимальные значения могут изменяться на протяжении времени (от 370 до 459 ppm); значение концентрации CH₄ составляет 1,25 и 1,45 для минимального и максимального значения, соответственно; средние значения концентрации пыли варьируются от приблизительно 56 г/м³ до 79 г/м³. При этом отмечаются определенные взаимосвязи между концентрациями CO₂, CH₄ и запыленностью, однако они слабо выражены. Более детальный анализ подчеркивает значительные изменения концентрации как метана, так и пыли в зависимости от времени и местоположения. Эти изменения могут быть связаны с множеством факторов, включая климатические условия, сезон, сельскохозяйственную деятельность и другие антропогенные и природные влияния, а также указывает на сложность взаимодействия этих факторов и необходимость дополнительных исследований для более глубокого понимания их влияния на окружающую среду и экологическое состояние сельскохозяйственных угодий.

Для более полного понимания ситуации перспективным является проведение более масштабных и длительных дополнительных исследований в различных локациях, а также лонгитюдный анализ связи между концентрацией CO₂ и другими факторами, такими как антропогенные и природные воздействия, с целью выявления их влияния на качество сельскохозяйственных угодий Сахалинской области, и, соответственно, на состояние выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Правительства Сахалинской области в ходе реализации научных проектов в рамках грантовых исследований молодых ученых «Проведение экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области с использованием беспилотного летательного аппарата».

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out with the support of the Government of the Sakhalin region during the implementation of scientific projects within the framework of grant research of young scientists "Environmental Monitoring of Agricultural Lands of the Sakhalin Region Using an Unmanned Aerial Vehicle".

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Абрамова С.В. Безопасность человека в свете современной климатической повестки / С.В. Абрамова, Е.Н. Бояров, Д.А. Гершинкова // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. — 2021. — 13(1). — с. 111-133. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-111-133.
2. Wunch D. The Total Carbon Column Observing Network / D. Wunch, G. C. Toon, J.-F. L. Blavier et al. // *The Total Carbon Column Observing Network*. — 2011. — 369 (1943). — p. 2087–2112. — DOI: 10.1098/rsta.2010.0240.
3. Абрамова С. В. Риск-ориентированная модель природопользования в условиях заказника «Долинский» Сахалинской области / С. В. Абрамова, Е. Н. Бояров, О. В. Купцова и др. // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. — 2023. — Т. 28 № 2. — с. 89-103. — DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-2-89-103.
4. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Сахалинской области в 2022 году / Министерство экологии и устойчивого развития Сахалинской области. — Южно-Сахалинск, ООО «Эйкон», 2023. — 190 с.
5. Юдина Н. П. Применение БПЛА в сельском хозяйстве / Н. П. Юдина, Е. С. Юрова // *Территория инноваций*. — 2016. — 3. — с. 39-44.
6. Tsouros D. C. A Review on UAV- Based Applications for Precision Agriculture / D. C. Tsouros, S. Bibi, P. G. Sarigiannidis // *Information*. — 2019. — 10 (11). — p. 349. DOI: 10.3390/info10110349.
7. Морозова Н. В. Мониторинг земельных ресурсов. Методика сбора информации при осуществлении мониторинга / Н. В. Морозова // *E-Scio*. — 2020. — 4 (43). — с. 342-347.

8. Ознамец В. В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов / В. В. Ознамец // Образовательные ресурсы и технологии. — 2020. — 1 (30). — с. 83-91. DOI: 10.21777/2500-2112-2020-1-83-91.
9. Шайтура С. В. Точное земледелие как один из аспектов цифровизации сельского хозяйства / С. В. Шайтура, А. В. Коломейцев, И. И. Позняк и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. — 2022. — 3. — с. 161-166.
10. РД 52.04.909-2021. Массовая концентрация оксида углерода в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений с отбором проб воздуха в пробоотборные пакеты — Введ. 2021-07-01. — Санкт-Петербург: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2021.— 26 с.
11. Ситнов С. А. Анализ квазидвухлетней изменчивости общего содержания окиси углерода и ее связи с квазидвухлетней изменчивостью общего содержания озона / С. А. Ситнов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2008. — Т. 44 № 4. — с. 494–502.
12. Bongiovanni R. Precision Agriculture and Sustainability / R. Bongiovanni, J. Lowenberg-DeBoer // *Precis. Agric.* — 2004. — 5. — p. 359–387. — DOI: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abramova S.V. Bezopasnost' cheloveka v svete sovremennoj klimaticheskoj povestki [Human Security in a Modern Climate Agenda] / S.V. Abramova, E.N. Bojarov, D.A. Gershinkova // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* — 2021. — 13(1). — p. 111-133. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-111-133. [in Russian]
2. Wunch D. The Total Carbon Column Observing Network / D. Wunch, G. C. Toon, J.-F. L. Blavier et al. // *The Total Carbon Column Observing Network.* — 2011. — 369 (1943). — p. 2087–2112. — DOI: 10.1098/rsta.2010.0240.
3. Abramova S. V. Risk-orientirovannaja model' prirodopol'zovanija v uslovijah zakaznika «Dolinskij» Sahalinskoj oblasti [Risk-Oriented Model of Nature Management in the Conditions of the Dolinsky Nature Reserve of the Sakhalin Region] / S. V. Abramova, E. N. Bojarov, O. V. Kuptsova et al. // *Bulletin of SSUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies).* — 2023. — V. 28 № 2. — p. 89-103. — DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-2-89-103. [in Russian]
4. Doklad o sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Sahalinskoj oblasti v 2022 godu [Report on the State and Environmental Protection of the Sakhalin Region in 2022]. Ministry of Ecology and Sustainable Development of the Sakhalin Region. — Yuzhno-Sakhalinsk, LLC "Akon", 2023. — 190 p. [in Russian]
5. Judina N. P. Primenenie BPLA v sel'skom hozjajstve [The Use of UAVs in Agriculture] / N. P. Judina, E. S. Jurova // *The Territory of Innovation.* — 2016. — 3. — p. 39-44. [in Russian]
6. Tsouros D. C. A Review on UAV- Based Applications for Precision Agriculture / D. C. Tsouros, S. Bibi, P. G. Sarigiannidis // *Information.* — 2019. — 10 (11). — p. 349. DOI: 10.3390/info10110349.
7. Morozova N. V. Monitoring zemel'nyh resursov. Metodika sbora informatsii pri osuschestvlenii monitoringa [Monitoring of Land Resources. Methods of Collecting Information during Monitoring] / N. V. Morozova // *E-Scio.* — 2020. — 4 (43). — p. 342-347. [in Russian]
8. Oznamets V. V. Prostranstvennaja s'emka i modelirovanie s ispol'zovaniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Spatial Survey and Simulation Using Unmanned Aerial Vehicles] / V. V. Oznamets // *Educational Resources and Technologies.* — 2020. — 1 (30). — p. 83-91. DOI: 10.21777/2500-2112-2020-1-83-91. [in Russian]
9. Shajtura S. V. Tochnoe zemledelie kak odin iz aspektov tsifrovizatsii sel'skogo hozjajstva [Precision Farming as One of the Aspects of Digitalization of Agriculture] / S. V. Shajtura, A. V. Kolomejcev, I. I. Poznjak et al. // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy.* — 2022. — 3. — p. 161-166. [in Russian]
10. RD 52.04.909-2021. Massovaja kontsentratsija oksida ugljeroda v probah atmosfernogo vozduha. Metodika izmerenij s otborom prob vozduha v probootbornye pakety [RD 52.04.909-2021. Mass Concentration of Carbon Monoxide in Atmospheric Air Samples. Measurement Procedure with Sampling of Air in Sampling Bags] — Introduced 2021-07-01. — Sankt-Peterburg: Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federatsii, 2021.— 26 p. [in Russian]
11. Sitnov S. A. Analiz kvazidvuhletnej izmenchivosti obschego sodержanija okisi ugljeroda i ee svjazi s kvazidvuhletnej izmenchivost'ju obschego sodержanija ozona [Analysis of the Quasi-Two-Year Variability of the Total Carbon Monoxide Content and Its Relationship with the Quasi-Two-Year Variability of the Total Ozone Content] / S. A. Sitnov // *News of the Russian Academy of Sciences. Atmospheric and Ocean Physics.* — 2008. — V. 44 № 4. — p. 494–502. [in Russian]
12. Bongiovanni R. Precision Agriculture and Sustainability / R. Bongiovanni, J. Lowenberg-DeBoer // *Precis. Agric.* — 2004. — 5. — p. 359–387. — DOI: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa.