

**Анализ аномалий концентраций метана над выгоревшими территориями
бореально-арктической зоны Восточной Сибири в 2018-2019 гг. по
спутниковым данным TROPOMI**

Черепанова Е.В., Феоктистова Н.В., Чудакова М.А.

*Научно-исследовательский институт аэрокосмического
мониторинга «АЭРОКОСМОС», Москва*

*16 - 20 ноября 2020 г.
Москва, ИКИ РАН*

Актуальность

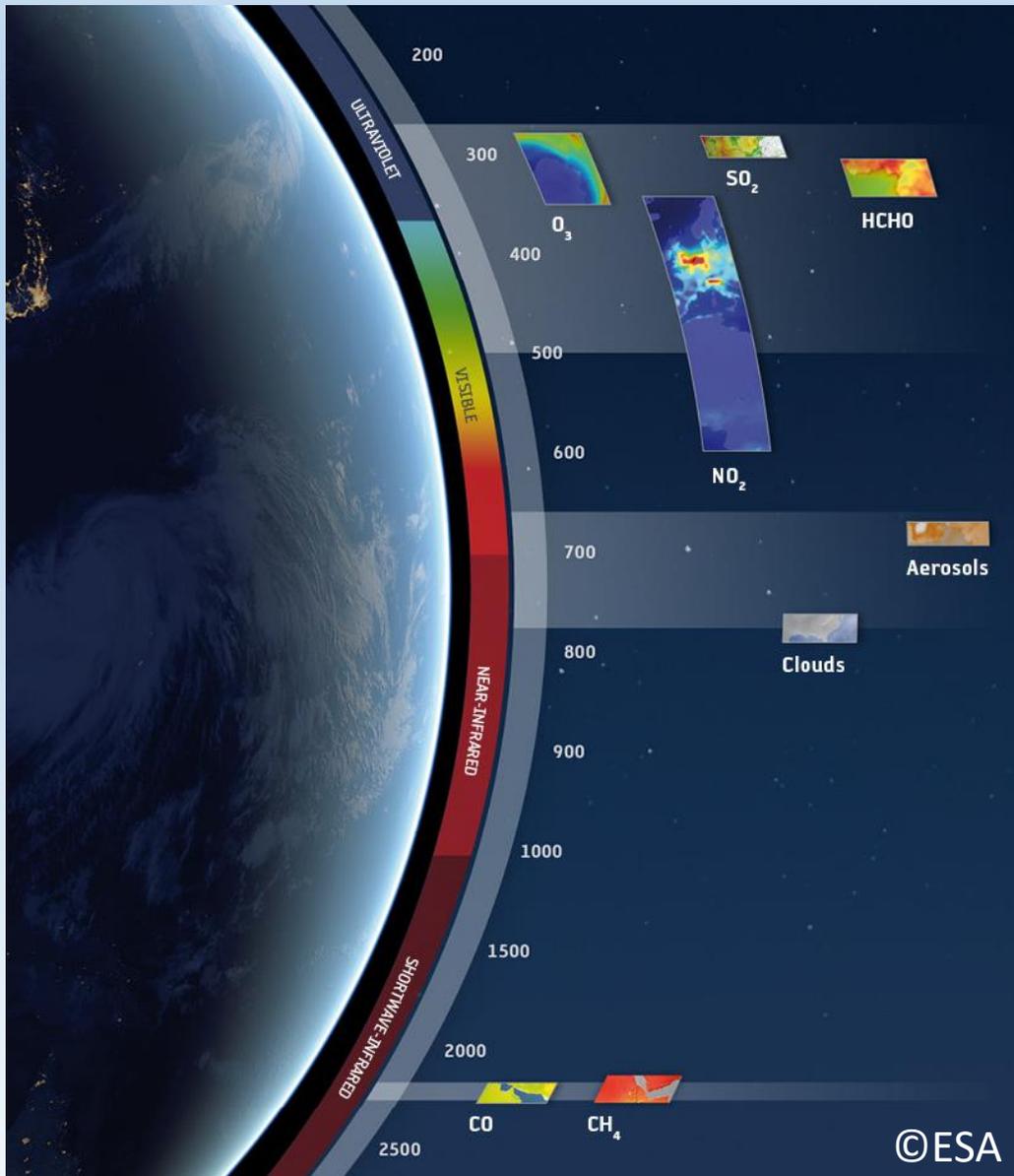
Лесные пожары являются одним из важных природных и природно-антропогенных источников эмиссий газовых примесей, включая метан, и аэрозолей в атмосферу. Интенсивность пожаров и объемы эмиссий вредных веществ в атмосферу подвержены значительным сезонным колебаниям в зависимости от типов растительного покрова и региональных климатических особенностей. Многие процессы, ведущие к выбросам CH_4 , в том числе в результате природных пожаров, ещё слабо изучены, отличаются высокой временной и территориальной изменчивостью и зависят от множества факторов, что в итоге может приводить к значительным расхождениям в оценках. Привлечение и анализ данных регулярного космического мониторинга арктико-бореальной зоны позволит сократить неопределенности в существующих оценках объемов эмиссий.

Задачи

В настоящей работе были исследованы возможности использования продукта CH_4 offline (общее содержание метана в тропосфере над сушей), получаемые с прибора TROPOMI (спутник Sentinel-5P).

На примере удаленных крупных выгоревших лесных территорий в республике Саха были выявлены аномалии концентраций общего содержания метана над горящими и проанализирована внутрисезонная динамика среднемесячных концентраций CH_4 за 2018-2019 года с получением количественных оценок.

Прибор TROPOMI на борту спутника Sentinel-5P



Для выявления аномалий концентраций общего содержания метана, вызванных лесными пожарами, использовались данные запущенного в 2017 году спутника Copernicus Sentinel-5P (TROPOMI).

Прибор TROPospheric Monitoring (TROPOMI), прибор, являющийся единственной полезной нагрузкой Sentinel-5P, использует методы пассивного дистанционного зондирования путем измерения в верхней части атмосферы (TOA) солнечного излучения, отраженного от Земли и излучаемого ею.

Ширина полосы съемки составляет ~2600 км на земной поверхности. Типичный размер пикселя (в надир) составляет:

- **7x3.5 км²** для большинства продуктов (**SO₂, NO₂, HCHO, AI, AOT**)
- **28x21 км²** для ультрафиолетового диапазона UVW1 (**O₃**)
- **7x7 км²** для коротковолнового инфракрасного диапазона SWIR (**CO, CH₄**)

Для измерения метана в приборе (TROPOMI) используется коротковолновый инфракрасный диапазон (SWIR) 2305-2385 нм. Чувствительность прибора падает при больших зенитных углах Солнца, но имеет лучшее пространственное разрешение по сравнению с данными, получаемыми в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне (MWIR, LWIR) (Veefkind, J. P., et.al, 2012). В связи с этим, данные этого прибора рекомендуется использовать для изучения содержания метана над материковой частью boreально-арктической зоны РФ в летний сезон.

Методика проведения исследования

- 1 - Анализ пространственного распределения и площадей выгоревших территорий в 2018 и 2019 гг. по данным продукта MCD 64 Гари (Burned Area) с прибора MODIS.
 - Получение генерализированных площадей для каждого сезона (участки с общей площадью более 400 кв. км).
 - Выбор фоновых участков – это лесные территории, не подвергавшиеся воздействию огня за последние 5-10 лет.

- 2
 - Получение ежедневных данных CH₄ TROPOMI (<https://s5phub.copernicus.eu>; <https://disc.gsfc.nasa.gov/>).
 - Анализ полученных данных, оценка качества и выбор типа данных для исследования.
 - Расчет обобщенных еженедельных и ежемесячных значений CH₄ в период с мая по сентябрь за 2018 и 2019 гг. на территорию исследования.

- 3
 - Расчет среднемесячных статистических характеристик (среднее, стандартное отклонение, максимальные и минимальные значения, число расчетных пикселей) распределения общего содержания CH₄ над фоновыми и выгоревшими территориями в мае-сентябре 2018, 2019 гг.

- 4
 - Построение графиков трендов динамики концентраций метана над выгоревшими территориями по результатам расчетов.
 - Анализ возможных причинно-следственных связей наблюдаемых явлений.

Территория исследования

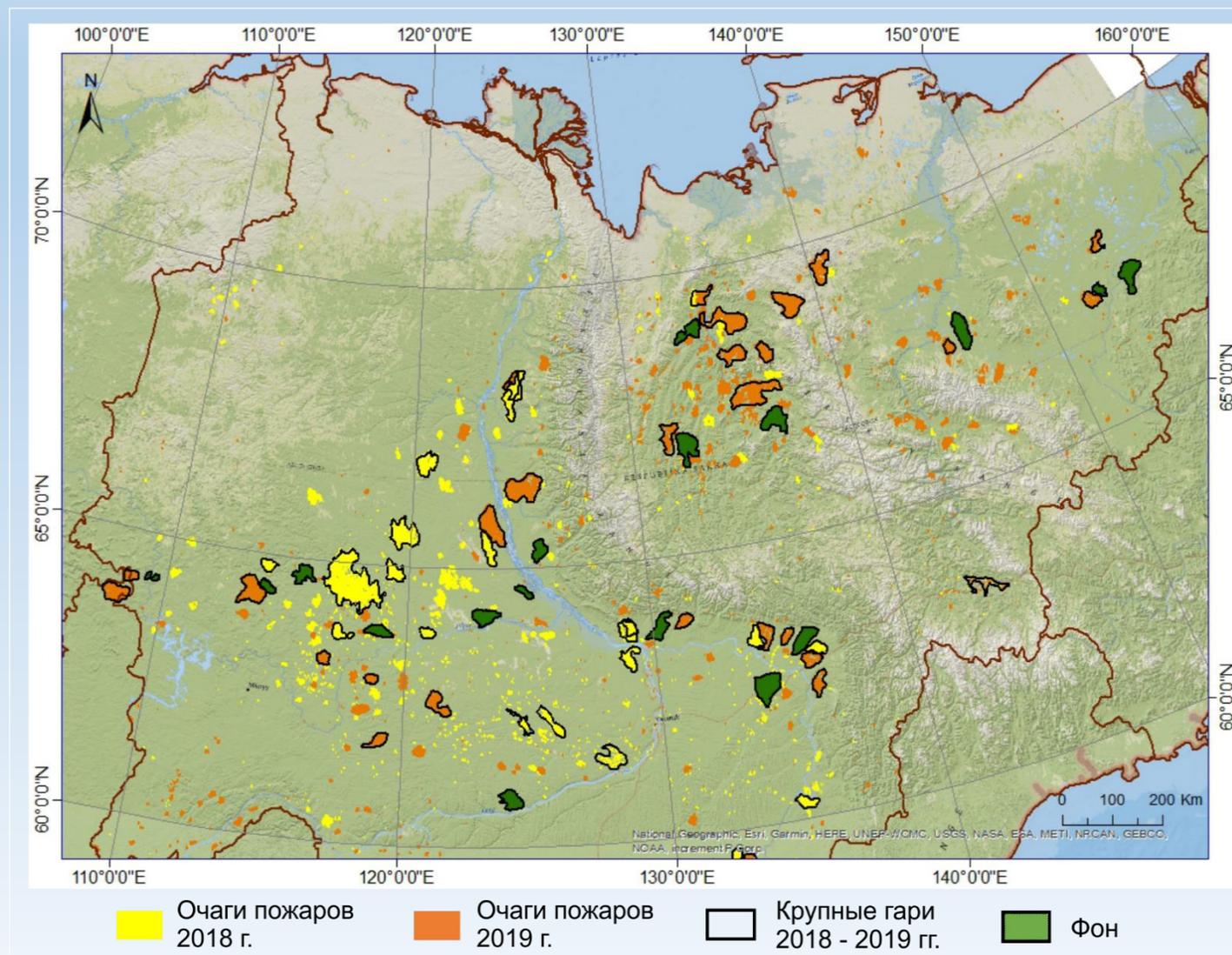
По данным продукта MCD 64 Гари (Burned Area) с прибора MODIS на территории Якутии было выявлено:

- в 2018 году выявлено 389 выгоревших участков с площадями более 10 кв. км.,
- в 2019 году – 687 участков.

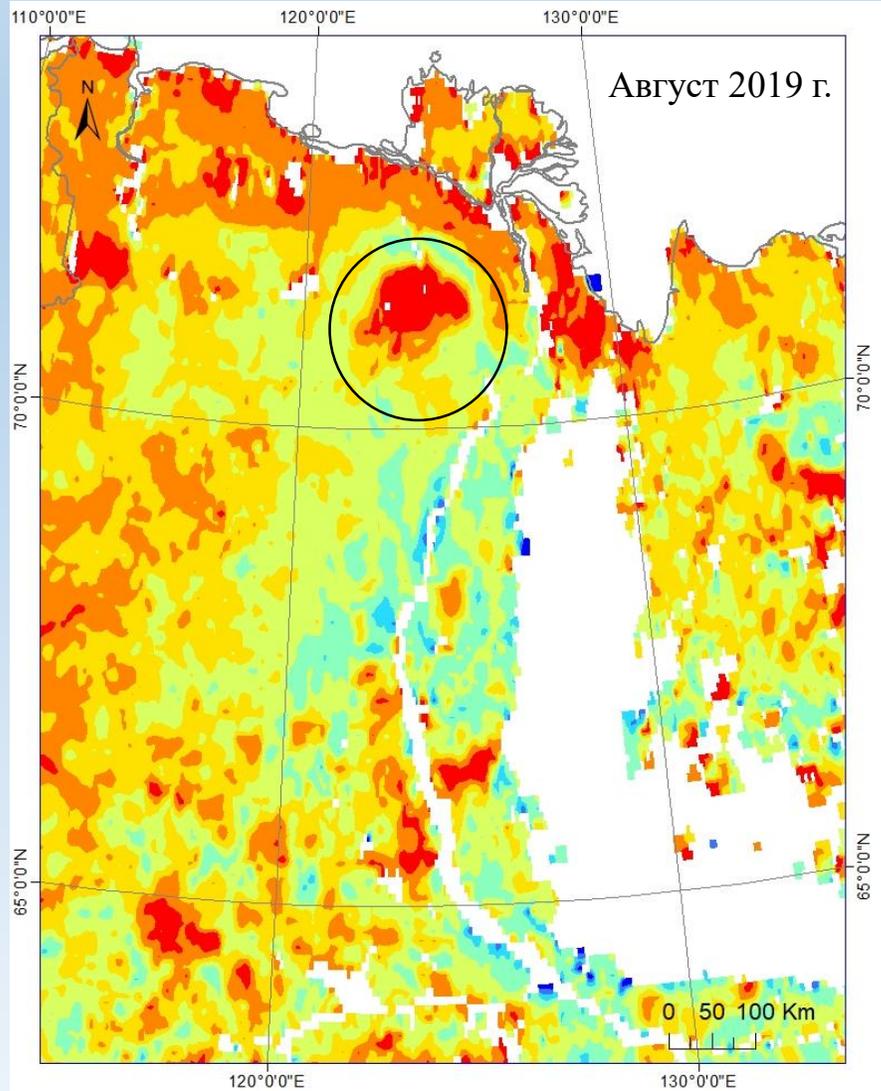
Большая часть площадей выгорела в июле-августе. Суммарная площадь выгорания лесных территорий в рассматриваемом регионе за сезон 2018 года превысила 33 тыс. кв. км, а в 2019 году составила почти 48 тыс. кв. км.

Для исследования было выбрано 47 участков выгоревших территорий с площадями от 400 до 7500 кв.км

- 18 гарей в 2018 г.,
- 29 гарей в 2019 г.)
- 17 фоновых участков - территорий, не подвергавшихся воздействию пожаров по крайней мере последние 5-10 лет.

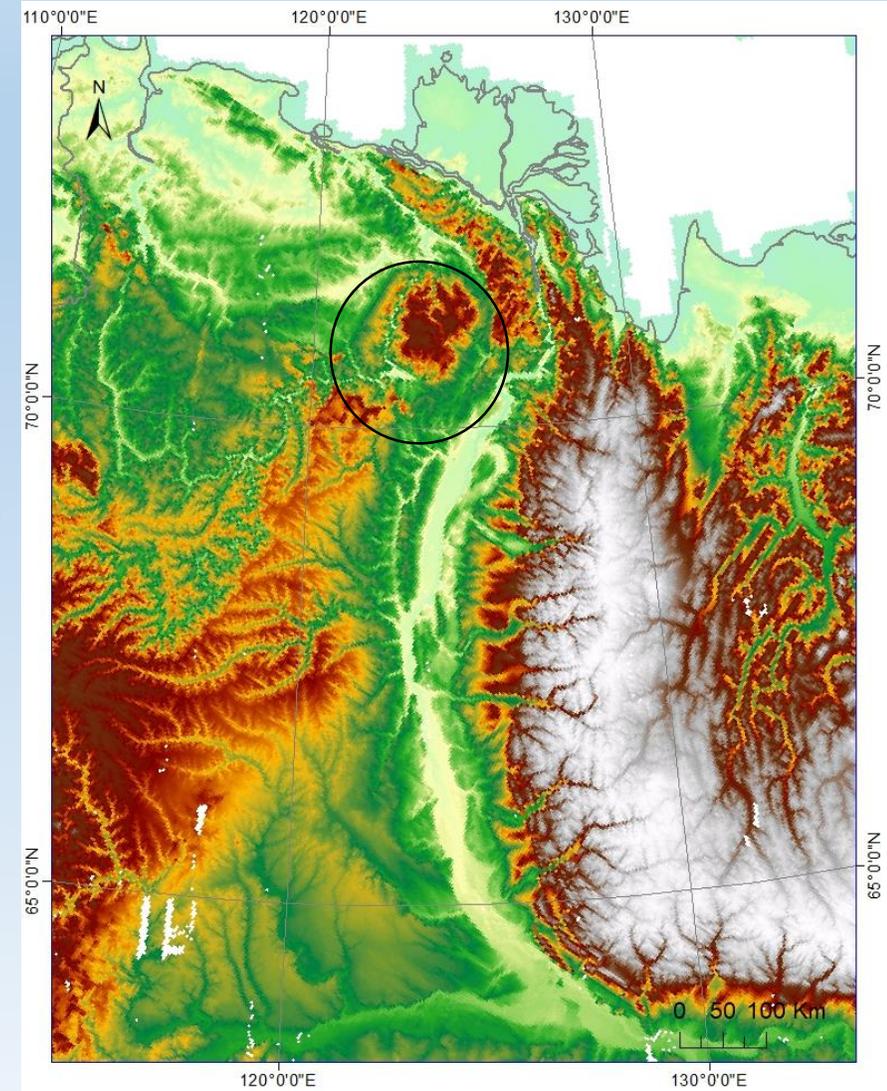
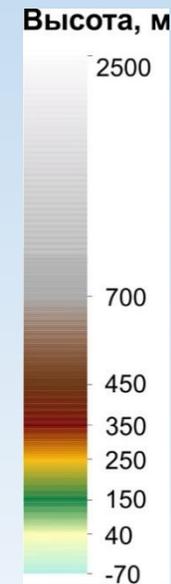
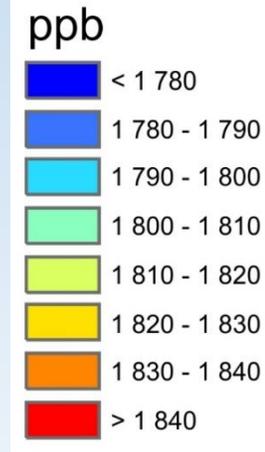


Анализ данных CH₄ TROPOMI

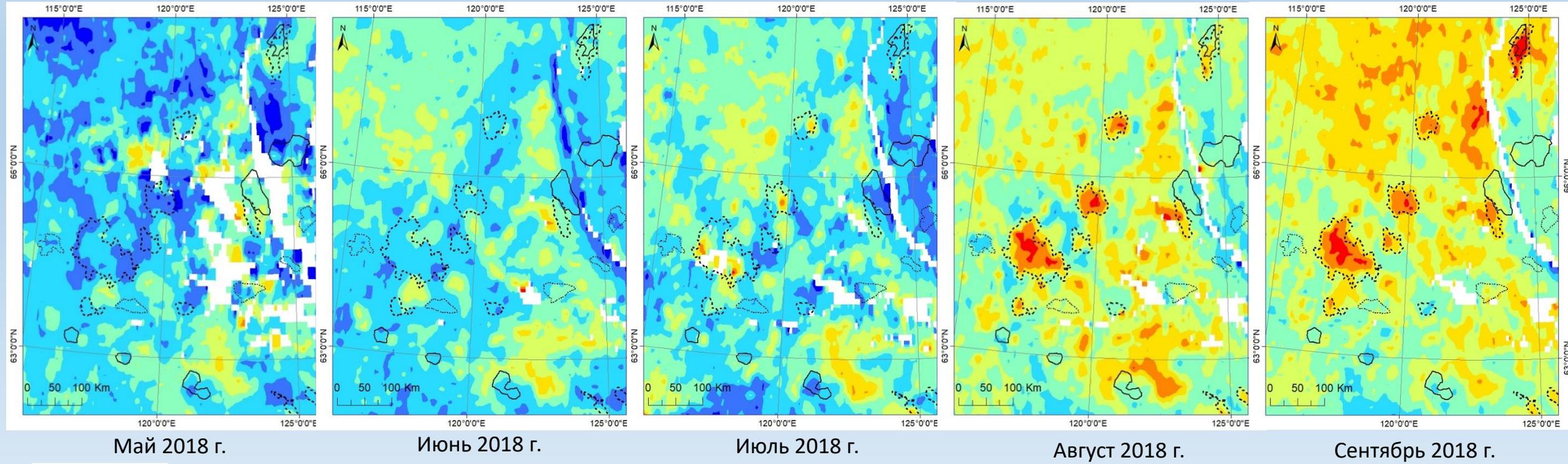


1. Ложная аномалия CH₄ над возвышенностью Тигие-Сюрехтере, выявленная по данным TROPOMI, прошедшим контроль качества (quality value > 50).

2. Сравнение и выбор типа данных для анализа: разница значений default CH₄ и bias-corrected CH₄.

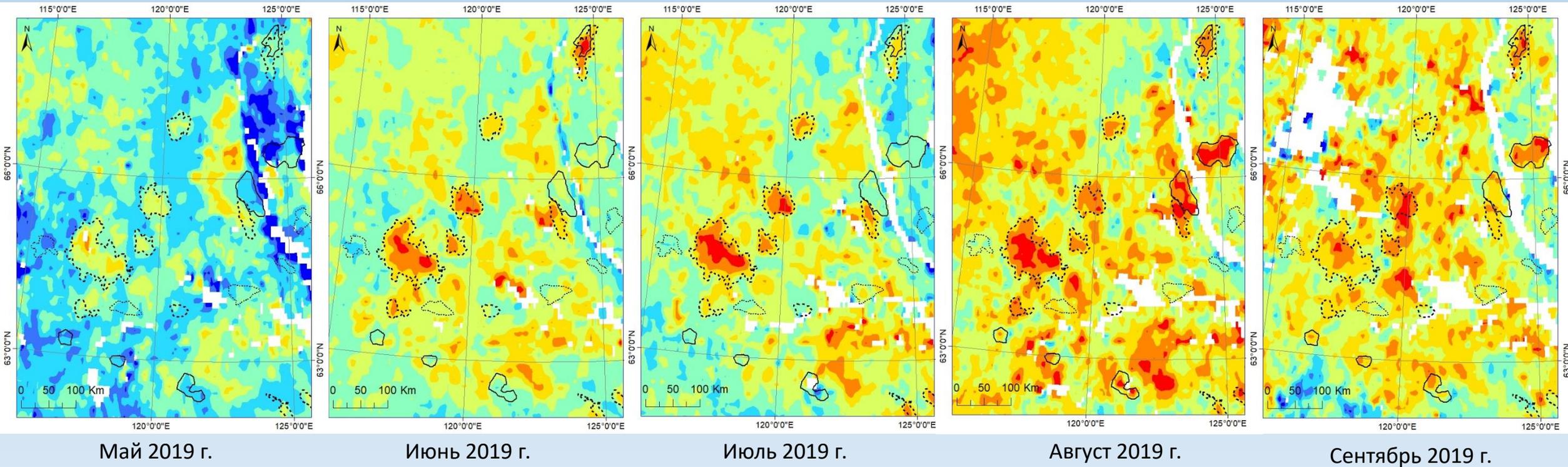


Пространственное распределение среднемесячных концентраций метана, полученных по спутниковым данным TROPOMI, над тестовыми участками в мае-сентябре 2018 г.



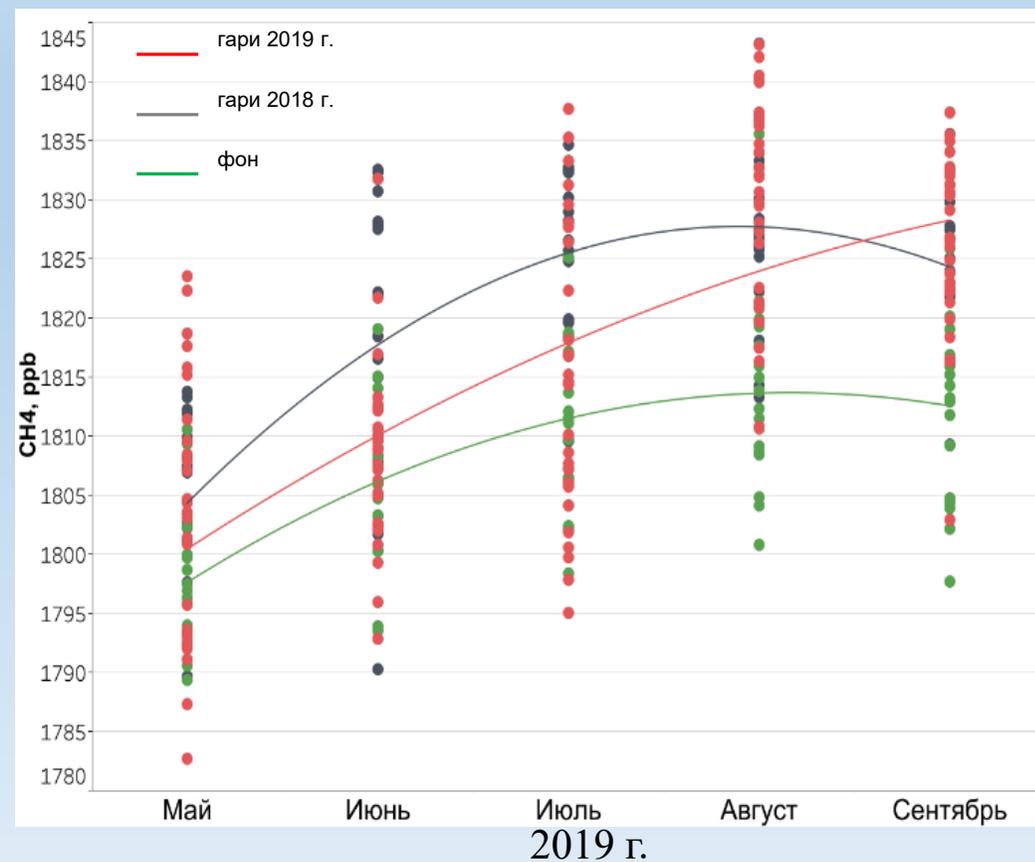
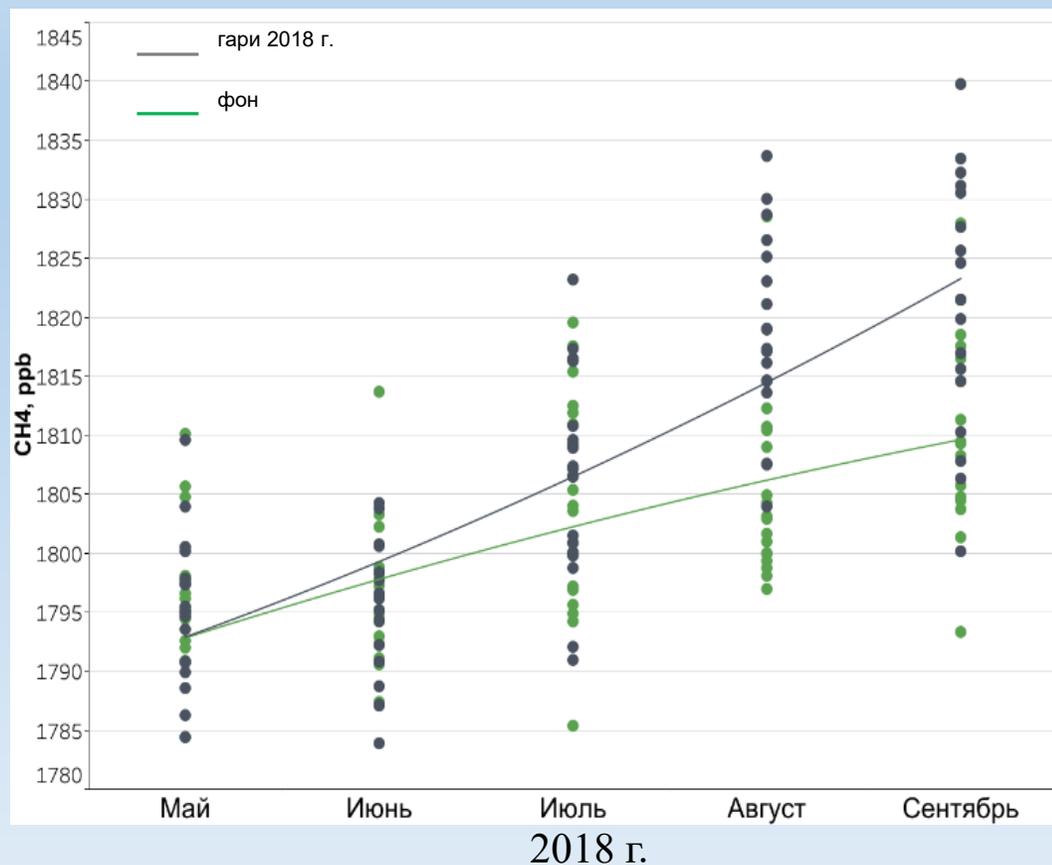
При проведении настоящего исследования за период май-сентябрь 2018-2019 гг. по ежедневным данным TROPOMI были рассчитаны недельные и среднемесячные данные по общему содержанию метана в тропосфере. Алгоритм восстановления CH₄ чувствителен к наличию облачности и аэрозолям, поэтому даже недельные композиты не позволяют получить полное покрытие территории. Поэтому для проведения анализа было решено использовать осредненные за месяц данные.

Пространственное распределение среднемесячных концентраций метана, полученных по спутниковым данным TROPOMI, над тестовыми участками в мае-сентябре 2019 г.



В августе 2019 г. значения CH₄ для фоновых участков становятся более высокими и появляются новые ареалы повышенных значений концентраций CH₄ (1850-1860 ppb), совпадающие с границами гарей 2018 и 2019 гг. В сентябре над выгоревшими участками также наблюдаются повышенные значения концентраций метана. Предположительно такой устойчивый повышенный фон концентраций CH₄ над гарями вне сроков горения связан с эффектом постпожарных эмиссий. Длительные пожары (более 2 недель) способствуют инициации процессов подтаивания вечной мерзлоты. После пожара изменяется альbedo поверхности, что влечет за собой изменения в тепловом балансе.

Среднемесячные значения и тренды динамики общего содержания метана над тестовыми участками в Якутии, полученные по временным сериям TROPOMI за 2018 и 2019 гг.



По полученным временным сериям данных были построены полиномиальные тренды 2-й степени, отражающие рост концентраций CH₄ над выгоревшими территориями с июля по сентябрь по сравнению с фоновыми лесными территориями. В целом 2019 год характеризуется более высокими значениями концентраций метана. Так в августе 2019 зафиксированы максимальные среднемесячные значения метана - 1843 ppb за наблюдаемый период, в то время как в августе 2018 максимум не превышал 1834 ppb, а в сентябре 2018 г – 1840 ppb. Повышенные среднемесячные значения концентраций метана над гари 2018 года наблюдаются и на протяжении всего пожароопасного сезона 2019 г.

Среднемесячные значения и тренды динамики общего содержания метана над тестовыми участками в Якутии, полученные по временным сериям TROPOMI за 2018 и 2019 гг.

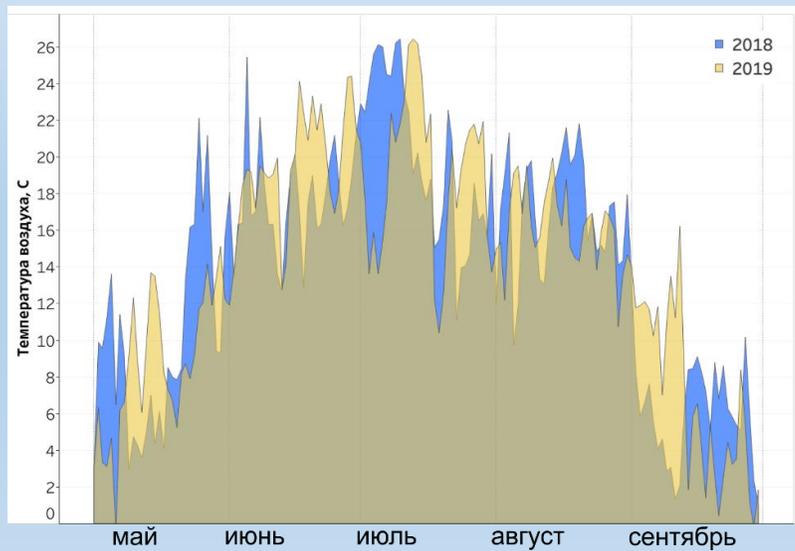
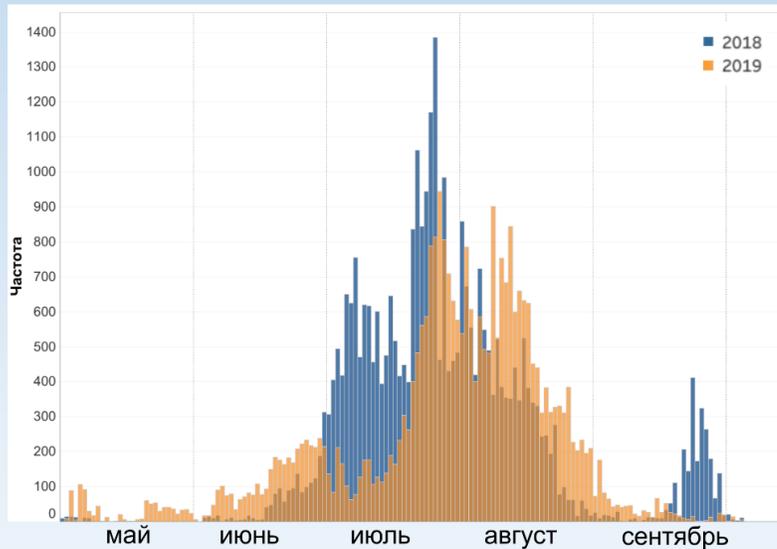
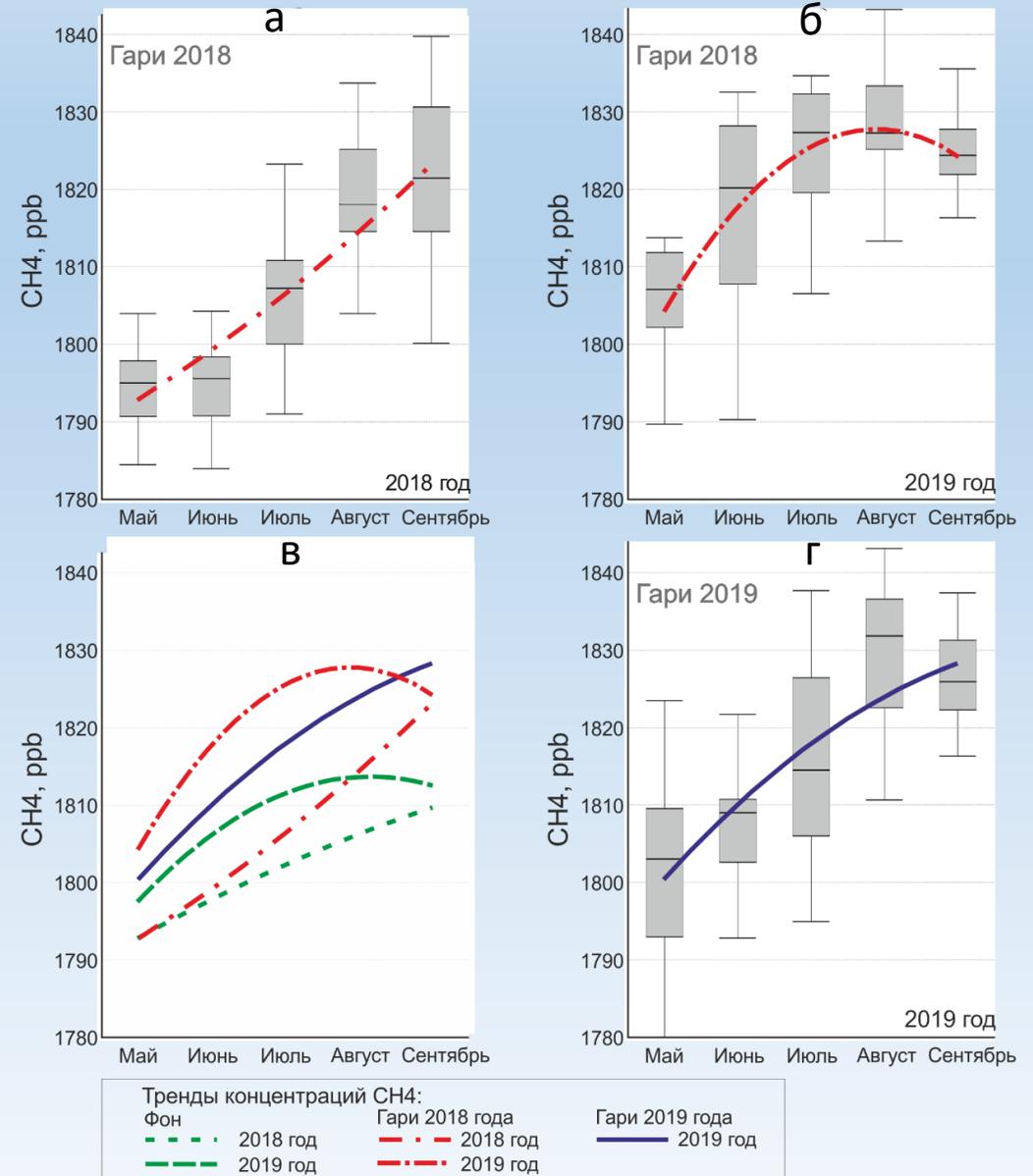


График сезонного хода температуры воздуха по данным метеостанции в Якутске за летние сезоны 2018-2019 гг.



Частота обнаружения пожаров по данным MODIS в границах тестовых участков за летние сезоны 2018-2019 гг.



Заключение

- Полученные результаты подтверждают наличие эмиссий метана над выгоревшими территориями не только во время лесных пожаров, но и в постпожарные периоды во время восстановления растительного покрова, вызванные процессами подтаивания вечной мерзлоты.
- Установлено, что для исследуемой территории наблюдается устойчивая тенденция появления аномалий с осреднёнными ежемесячными значениями концентрации CH₄ выше фоновых на 5-15 ppb в июле-сентябре для вновь горимых областей, и на 10-15 ppb в период с мая по сентябрь для прошлогодних гарей.
- Показано, что для анализа динамики аномальных концентраций общего содержания метана, связанных с выгоревшими территориями, возможно использование как стандартного продукта CH₄ offline (default), так и скорректированного CH₄ offline (bias-corrected). Однако, для исследования динамики в целом по региону необходимо дополнительно обосновать выбор продукта.
- Установлено, что, хотя частота ежедневного покрытия данными над непосредственно горимыми площадями ниже, чем над фоновыми территориями из-за наличия постоянной облачности и дымовой завесы над крупными очагами пожаров, среднемесячные композиты хорошо отражают динамику эмиссий метана в пожароопасный сезон.

Выводы

- Данные космического мониторинга атмосферы TROPOMI могут применяться для исследования процессов эмиссий метана в высокоширотных территориях преимущественно в летний период над крупными выгоревшими территориями с высокой степенью достоверности. Однако, необходимо привлечение наземных опорных данных для валидации информационного продукта CH₄ TROPOMI применительно к особенностям локальных условий.
- Рост числа и площадей неконтролируемых природных пожаров, деградация вечной мерзлоты в высокоширотных территориях приводит к изменению баланса парниковых газов в атмосфере, и как следствие усиливается негативное влияние на климатическую систему Земли в целом. Необходимо проводить дальнейшие исследования динамики аномальных зон высоких концентраций метана в атмосфере арктико-бореальной зоны, связанных с комбинированным воздействием различных источников эмиссий метана, таких как едомы, болота и пожары.

Спасибо за внимание!