



Анхель Э.Эспарса¹, Райан Мэттсон² - rmattson@ghgsat.com, и Жан-Франсуа Готье³

¹ Компания GHGSat, Inc, штат Техас, США – ответственный автор

² Компания GHGSat, Inc, г.Калгари, провинция Альберта, Канада

³ Компания GHGSat, Inc, г. Монреаль, провинция Квебек, Канада

Ángel E. Esparza¹, Ryan Mattson² - rmattson@ghgsat.com, and Jean-François Gauthier³

¹ GHGSat, Inc., Houston, TX, USA – Corresponding Author

² GHGSat, Inc., Calgary, AB, Canada

³ GHGSat, Inc., Montréal, QC, Canada

Спутниковый мониторинг утечек на объектах нефтегазовой инфраструктуры в рамках поддержки инициатив ЭСУ (ESG)

Monitoring Leaks at Oil and Gas Facilities Using Satellites in Support of ESG Initiatives

Введение

Английская аббревиатура ESG (ЭСУ – экология, социум (или социальное развитие), (корпоративное) управление, от английских составляющих «environment», «society», «governance») стала общеизвестным термином, принятым на рынках капиталов для определения того, насколько продвинутые компании придерживаются политики социальной и экологической ответственности в своей деятельности. Известно, что компании, которым не удастся управлять социально-экологическими рисками, т.н. рисками ЭСУ, как показывает практика, демонстрировали более высокую стоимость привлечения капитала, усиленную волатильность, и ведение бухгалтерского учета с нарушением правил.

Introduction

The number of investment funds that incorporate Environmental, Social, and Governance (ESG) factors has been growing rapidly in the last twenty years. The ESG factors are a subset of non-financial performance indicators that include ethical, sustainable, and corporate governance issues. ESG is now a generic term used in capital markets to determine how far advanced companies are with sustainability efforts. It is now known that companies that fail to manage ESG risks have historically experienced higher costs of capital, increased volatility, and accounting irregularities.

Russia signed the Paris Agreement in December 2015 and ratified it in October 2019. On April 21, 2021, Russia's president set a 30-year goal to have lower

Россия подписала Парижское соглашение в декабре 2015 года, и ратифицировала его в октябре 2019 года. 21 апреля 2021 года, российский президент поручил правительству, в течение 30 лет, добиться более низкого уровня эмиссии парниковых газов по сравнению со странами Европейского союза. Эмиссия парниковых газов в России составляет примерно половину уровня эмиссии всех 27 стран Евросоюза, что ставит Россию на четвертое место в мире среди стран с максимальным уровнем эмиссии парниковых газов (Reuters 2021).

Не так давно российский Центральный банк предложил отечественным компаниям раскрывать в годовой отчетности планы своих мероприятий по ЭСУ, и заявил, что оценка рисков, связанных с ЭСУ, является исключительно важной, поскольку существует высокая вероятность того, что они со временем трансформируются в финансовые риски (Reuters 2021). Российский регулятор также намерен выпускать т.н. государственные «зеленые» облигации. Рынок зеленого финансирования возник в России в 2018 г. Термин «зеленое финансирование» подразумевает предоставление кредитов, в виде облигаций, с целью увеличения эффективности использования ресурсов и сокращения негативного воздействия на окружающую среду и глобальный климат (Dubrova, et al. 2021). Для того, чтобы инструмент финансового рынка считался «зеленым», компания должна быть признана обществом, и соответствовать определенным критериям выдачи такого сертификата. Принципы этих критериев хорошо согласуются с основными установками ЭСУ.

Согласно Бабкину и др., Россия до сих пор отстает от глобального тренда ЭСУ, а информированность о понятиях ЭСУ остается чрезвычайно низкой (Babkin, et al. 2021). Дуброва, и др., утверждает, что Россия стоит перед проблемой дефицита достаточного количества организаций, занятых в сфере социально-ответственного инвестирования, что затрудняет разработку решений глобальных проблем (Dubrova, et al. 2021). Недавнее исследование Пономаренко, и др., показывает, что оценка устойчивого эколого-социально-экономического развития, в рамках ответственности бизнеса перед обществом, затруднительна в силу отсутствия консенсуса между методологиями, и даже определениями ключевых терминов, имеющими отношение к предмету (Ponomarenko, et al. 2021) Работа Пономаренко предлагает оценку корпоративной социально-экологической ответственности нефтегазового сектора посредством использования социально-экологических индикаторов. Разработанная

accumulated net greenhouse gas emissions than in the European Union. Russia's greenhouse gas emissions are roughly half of the total 27 European Union countries, placing Russia as the world's fourth largest greenhouse gas emitter (Reuters 2021).

Recently, Russia's central bank has recommended domestic companies to disclose their ESG agendas in their annual reports and stated that it is essential to evaluate ESG-related risks, as there is a high probability they may transform into financial risks over time (Reuters 2021). The Russian institution is also considering issuing state green bonds. In Russia, the green finance market emerged in 2018. Green financing means providing finance, in the form of bonds, while enhancing the resource efficiency and reducing the impact on the environment and the global climate (Dubrova, et al. 2021). In order for a financial security to be considered "green", a company needs to be recognized by the public and meet specific certification criteria. The principles for these criteria are well aligned with the ESG precepts.

According to Babkin et al., Russia is still lagging the global ESG trend and the awareness about ESG is extremely low (Babkin, et al. 2021). Dubrova, et al., states that Russia faces the problem of the lack of numerous organizations in the field of responsible investment, slowing the development of solutions to global problems (Dubrova, et al. 2021). A recent study by Ponomarenko et al., states that the assessment of sustainable development (SD), under the umbrella of corporate social responsibility (CSR), is difficult due to the lack of consensus within the existing methodologies and even definitions of key terms associated with the subject (Ponomarenko, et al. 2021). Ponomarenko's study proposes a methodology for assessing corporate sustainability of oil and gas (O&G) by using social and environmental indicators. The developed methodology incorporated ESG indicators due to the significant impact that O&G companies have on the environment.

There is no doubt that in today's emerging reality, ESG is important to the O&G industry, since governments, investors, and individuals are increasingly focused on issues pertaining to climate change, workforce conditions, and corporate governance. The increasing pressure to protect the environment should be at the forefront of the business decisions made by O&G companies. The issue of climate change and global warming is currently seen by the public as one of the greatest threats to humankind. Due to this, methane emissions have taken greater notoriety in recent years, and the O&G sector has been identified and targeted by the public and governments due to methane's inherent presence in the production, transportation, storage,

методика включает в себя индикаторы ЭСУ, поскольку нефтегазовые компании оказывают значительное влияние на окружающую среду.

Без сомнения, в нашей стремительно развивающейся реальности факторы ЭСУ важны для нефтегазовой промышленности, поскольку государственные органы, инвесторы и просто граждане обращают все большее внимание на проблемы, связанные с изменением климата, условиями работы, и корпоративным управлением. Усиливающиеся требования защитить окружающую среду должны стать во главу угла при принятии решений в бизнесе нефтегазовых компаний. Проблема изменения климата и глобального потепления в настоящее время рассматривается обществом в качестве одной из центральных угроз человечеству. В этой связи, выбросы метана приняли в последнее время все более удручающий характер, а нефтегазовый сектор попал под прицел критики общественности и государственных органов, по причине непосредственного присутствия метана в процессах добычи, транспортировки, хранения, и распределения. Поэтому, выявление фактов выброса метана в результате этих процессов, и его минимизация, будут иметь положительное влияние на экологию, общество и органы государственного управления, а также на репутацию и экономику нефтегазового сектора.

Значение буквы «Э» в ЭСУ для нефтегазовых компаний

Интеграция факторов ЭСУ является ключом для устойчивого ведения бизнеса. Экологическая составляющая рассматривает воздействие, которое компания оказывает на окружающую среду. Сюда относится оценка воздействия отходов компании на среду, вклад компании в истощение природных ресурсов, вырубку лесов и деревьев, изменение климата, и выбросы парниковых газов. Последние два фактора представляют особый интерес для данной статьи.

В контексте ЭСУ, было отмечено, что индикаторы экологической составляющей, такие как водопотребление, производство отходов, удельное потребление энергоресурсов, и эмиссия парниковых газов, обрели тренд на минимизацию. Другие индикаторы, такие как, инвестиции в защиту окружающей среды и нефтегазовых запасов, должны иметь приоритет максимизации.

Аргументы в пользу снижения выбросов метана

Сокращение выбросов метана в нефтегазовом секторе является рентабельным способом уменьшить присутствие парниковых газов, тем

and distribution processes. Therefore, identifying and minimizing methane emissions from these processes will have a positive impact within the environment, public, governments, and in the O&G sector's reputation and economies.

The E in ESG for O&G Companies

The integration of ESG factors is key in sustainable performance. The Environmental component looks at the analysis of the environmental footprint of a company. This includes assessments on waste, resource depletion, deforestation, climate change, and greenhouse emissions. The latter two are of special interest for this article.

Within the ESG framework, it is observed that indicators in the Environmental component, such as water consumption, waste production, energy consumption per unit, and GHG emissions, must achieved a minimization trend. Other indicators such as investment in environmental protection and O&G reserves must have a maximization priority.

The case for reduction of methane emissions

The reduction of methane emissions in O&G sector serves as a cost-effective method to decrease greenhouse gases (GHGs) while increasing energy security, enhancing economic growth, and improving air quality. It has been estimated that anthropogenic methane emissions contribute to about one-third of today's GHG warming (Stocker, et al. 2013).

Due to methane high global warming potential (GWP) and short residence time in the atmosphere when compared to carbon dioxide (CO₂), a reduction in methane emissions can efficiently have an impact in the shorter-term warming rate (Shoemaker, et al. 2013).

In the O&G sector, methane is mostly emitted during the production and transport of natural gas (United States Environmental Protection Agency 2019). A study performed in the Permian basin, United States, from September through November 2019, showed that 50 percent of detected emissions resulted from O&G production, while only 12 percent was attributable to processing, and 38 percent to gathering and boosting operations (Cusworth, et al. 2021). Therefore, identifying, capturing, and reducing emissions in these processes will contribute to a reduction of GHG emissions, hence supporting climate change mitigation efforts while increasing energy efficiency and supply.

Monitoring Methane from Space

The first artificial satellite, Sputnik, was placed into space on October 4, 1957. Since then, the use of satellites has expanded to monitor the earth, including weather

самым укрепляя энергобезопасность, стимулируя экономический рост, и улучшая качество воздуха. По оценкам специалистов, антропогенная эмиссия метана почти на треть способствует сегодняшнему потеплению, связанному с парниковым эффектом (Stocker, et al. 2013).

В связи с высоким потенциалом воздействия метана на глобальное потепление и непродолжительное время его присутствия в атмосфере, если сравнивать его с углекислым газом (CO_2), сокращение выбросов метана может в ближайшей перспективе существенно повлиять на уровень и темпы потепления (Shoemaker, et al. 2013).

В нефтегазовом секторе, метан выбрасывается, в основном, в процессе добычи и транспортировки природного газа (United States Environmental Protection Agency 2019). Исследование, проведенное в пермском бассейне в Соединенных Штатах, с сентября по ноябрь 2019 года, показало, что 50 процентов отмеченных выбросов явилось результатом добычи нефти и газа, тогда как только 12 процентов относилось к процессам переработки, а 38 процентов было следствием операций сбора и прокачки (Cusworth, et al. 2021). Поэтому, нахождение, улавливание и сокращение выбросов в данных процессах будет вносить вклад в сокращение эмиссии парниковых газов, тем самым способствуя усилиям по снижению изменения климата, эффективного использования энергоресурсов и энергообеспечения.

Мониторинг метана из космоса

Первый спутник Земли, «Спутник», был запущен в космос 4 октября, 1957 года. С тех пор, использование спутников для наблюдения за Землей расширилось, включая наблюдения за погодой и составом атмосферы. За последние двадцать лет, случаи масштабных выбросов метана (природные и антропогенные) фиксировались общественными спутниками с низким разрешением (Frankenberg, et al. 2005). Однако, выбросы метана, имеющие отношение к антропогенной деятельности, имеют дело с относительно мелкими источниками (Varon, Jacob, et al. 2018). С этой целью, GHGSat, частная компания с международным присутствием, выступила инициатором использования спутников с высоким разрешением для мониторинга выбросов метана в мировом масштабе. Компания запустила свой первый опытный образец микроспутника, GHGSat-D, в июне 2016 года, эффективно измеряющий выбросы метана и углекислого газа из намеченных источников. Этот спутник до сих пор полностью функционален, способствуя улучшению отбора

and atmospheric compositions. In the last twenty years, large-scale patterns of methane emissions (natural and anthropogenic) have been detected with public, low-resolution satellites (Frankenberg, et al. 2005). However, methane emissions related to anthropogenic activities are associated with many relatively small point sources (Varon, Jacob, et al. 2018). For this, GHGSat, a private company with international presence, pioneered the use of high-resolution satellites to monitor methane emissions worldwide. The company launched the first proof-of-concept microsatellite, GHGSat-D, in June 2016, effectively measuring methane and carbon dioxide emissions from targeted facilities. That satellite continues to be fully operational and has served in the improvement of data retrieval, and enhancement of processing methodologies. These insights were incorporated in the development of the new generation sensor (Ligori, et al. 2019). This sensor technology has been focused to detect methane and was incorporated into GHGSat-C1 and GHGSat-C2, which were launched in September 2020 and January 2021, respectively.

GHGSat satellites are in orbit approximately 500 km from the ground. Therefore, understanding the instrument's capabilities and depicting some examples of measurements performed by the satellites provides an idea of how this technology can be used in identifying methane emissions from O&G facilities and the impact in ESG metrics.

Instrument

The instrument in GHGSat's satellites uses spectrometry to perform measurements of methane concentration in excess of background concentration. This technology allows to measure surface-level trace gases by collecting sunlight scattering off the earth.

The primary instrument is GHGSat's patented sensor, which uses a Wide-Angle Fixed-cavity Fabry-Pérot (WAF-P) etalon imaging spectrometer. The WAF-P etalon uses reflections between two closely separated mirrors that partially reflect and transmit instant light. This transmitted light is then focused by a lens onto an imager (screen), which produces what is known as interference pattern. Interference occurs when two or more waves superimpose. The amplitude of the waves and its corresponding positions at each point in space are combined to form a single resultant wave. This produces a pattern of bright and dimmer bands. The brightness of these bands is determined by the extent these waves constructively interfere. Complete constructive interference results in the brightest bands, while partially constructive interference results in a dimmer band. The molecules in the light's path will absorb a certain pattern of wavelengths, leaving dark bands in the spectrum. The dark bands can be detected from orbit once the concentration of molecules increases.

данных и оптимизации методологий их обработки. Данные результаты и выводы были использованы при разработке датчика нового поколения (Ligori, et al. 2019). Технология этого датчика, нацеленная на обнаружение метана, была внедрена в спутниковые системы GHGSat-C1 и GHGSat-C2, запущенные в сентябре 2020 г. и в январе 2021 г., соответственно.

Спутники GHGSat находятся на орбите примерно 500 км от Земли. Следовательно, понимание возможностей этого инструмента и представление некоторых примеров измерений, проводимых спутниками, дает нам понимание, насколько данная технология может быть использована в целях выявления выбросов метана на объектах нефтегазовой инфраструктуры, и влияние этого на метрику ЭСУ.

Средство измерения

Измерительный прибор в спутниках GHGSat использует спектроскопию для измерения концентраций метана, превышающих фоновую концентрацию. Эта технология позволяет измерять остаточные газы на поверхности земли, посредством сбора информации о рассеивании солнечного света над поверхностью Земли.

Основной измерительный прибор – это патентованный датчик спутника GHGSat, использующий эталонный видеоспектрометр (интерферометр) Фабри-Перо (WAF-P) с широкоугольным резонатором постоянной настройки. Эталон WAF-P использует отражения между двумя близко расположенными зеркалами, которые частично отражают, частично пропускают световые импульсы. Этот пропущенный свет затем фокусируется одной из линз на устройство формирования изображений (экран), который производит то, что обычно именуется как интерферограмма. Интерференция происходит, когда две или более волны накладываются друг на друга. Амплитуда волн и их соответствующие положения в каждой точке пространства соединяются и формируются в одну суммарную волну. Это производит узор, состоящий из ярких и более тусклых полос. Яркость этих полос определяется степенью, с которой волны конструктивно интерферируют. Полная конструктивная интерференция производит самые яркие полосы, в то время как частичная конструктивная интерференция дает более тусклую полосу. Молекулы на пути света поглощают определенный рисунок световой волны, оставляя в спектре темные полосы. Темные полосы фиксируются с орбиты, как только концентрация молекул начинает возрастать.

In GHGSat's imaging system the radius of the ring on the imager is approximately proportional to the ray angle. This makes the etalon to behave as an angle-dependent filter. So rather than dispersing the light by wavelength, we filter the light to specific wavelengths, depending on the light's radial position within the scene. Figure 1 shows a schematic of the imaging system.

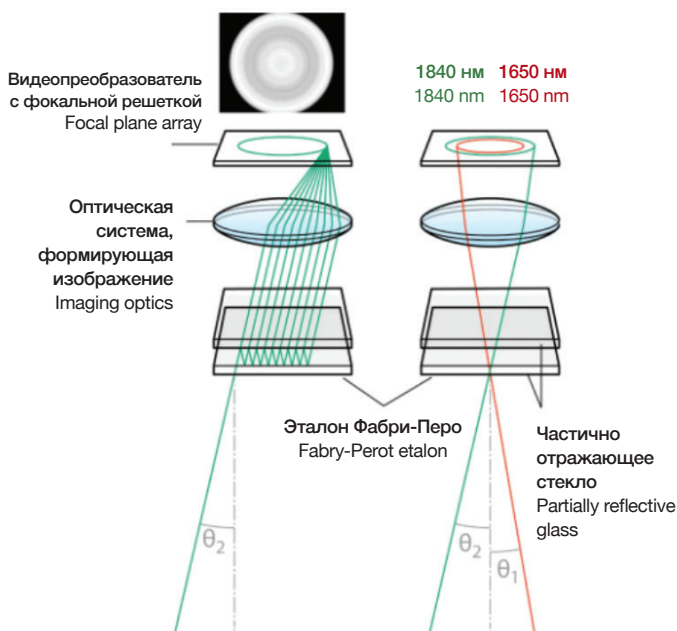


Иллюстрация: Джеймс Провост
Illustration: James Provost

Рис. 1: Нижняя часть: Эталон состоит из двух частично отраженных поверхностей, на расстоянии микрон друг от друга. Часть светового потока проходит между обеими поверхностями, остальное отражается внутри двухзеркальной полости, до того как проходит мимо. Часть слева: Если свет имеет нужную длину волны, и входит под определенным углом, он будет конструктивно интерферировать между собой. Часть справа: В результате получается длинноволновой фильтр, в зависимости от угла падения лучей света (McKeever, Jervis and Strupler 2020).

Fig. 1: Bottom: The etalon is made up of two partially mirrored surfaces held micrometers apart. A portion of the light passes through both surfaces; the rest reflects within the mirrored cavity before it passes through. Left: If the light is of the right wavelength and enters at a particular angle, it will constructively interfere with itself. Right: The result is an angle-dependent wavelength filter (McKeever, Jervis and Strupler 2020).

In addition to the WAF-P, the optical design of the instrument includes three lens groups, as well as beam folding mirrors required to fit the telescope within a microsatellite bus. This spectrometer is capable of resolving methane absorption lines in the shortwave infrared (SWIR; (Jervis, et al. 2021)). The spectral range for methane detection is at 1600-1700 nanometers (nm), with multiple bands in a proprietary configuration. This configuration provides accurate methane concentration values for over 200,000 pixels in each image.

В системе обработки изображений спутника GHGSat, радиус кольца фотоприемника приблизительно пропорционален углу ориентации луча. Это позволяет эталону действовать в качестве фильтра, работающего в зависимости от угла луча. Поэтому, вместо того, чтобы рассеивать свет по длинам волн, мы фильтруем его по определенной длине волны, в зависимости от радиального положения лучей света на этой сцене. **Рисунок 1** показывает схематическое изображение системы формирования и обработки изображений.

В дополнение к WAF-P, оптическая конструкция прибора содержит три группы линз, а также отклоняющее луч зеркало, необходимое для того, чтобы поместить телескоп на платформе микроспутника. Этот спектрометр способен к выделению линий поглощения метана в коротковолновой ИК области спектра (SWIR); (Jervis, et al. 2021)). Спектр частот обнаружения метана находится в пределах 1600 – 1700 нанометров (нм), с множеством полос собственной конфигурации. Эта конфигурация отражает точные значения концентрации метана на площади более 200 000 пикселей каждого изображения.

Наблюдения со спутников GHGSat-C1 и GHGSat-C2

Спутники, разработанные компанией GHGSat, действуют на солнечно-синхронной полярной орбите, на высоте приблизительно 500 км. Стандартный порог обнаружения газа для спутников GHGSat-C1 и GHGSat-C2 составляет 100 килограмм метана в час (кг/ч-1), в условиях умеренной ветрености. Каждый спутник разработан с возможностью 25-метрового разрешения на расстоянии приблизительно 12 км 12-километрового поля зрения. Каждый пиксель извлеченной информации о выбросах обеспечивает замер их концентрации, которая затем представляется верхним слоем искусственной расцветки, соответствующей расчетной концентрации, как показано на картах концентраций, представленных ниже.

Рисунок 2 показывает измерения, проведенные 25 сентября 2020 года спутником GHGSat C-1. Место замера соответствует нефтегазовому объекту, расположенному в Нью-Мексико, США. Разрешение спутника GHGSat-C1 позволяет четко определить источник обнаруженной эмиссии метана. На фоне (снимок сторонней компании) показана очень плотно застроенная территория, с собственниками, относящимися к нефтегазовой инфраструктуре, управляемой различными компаниями, теснящими здесь друг друга. Колориметрия концентрации шлейфа загрязнения

Observations from GHGSat-C1 and GHGSat-C2

The satellites designed by GHGSat operate in a sun-synchronous polar orbit at an altitude of approximately 500 km. The nominal detection threshold for GHGSat-C1 and GHGSat-C2 is 100 kilogram of methane per hour (kg-hr⁻¹), in moderate wind conditions. Each satellite is designed to offer a 25-meter resolution in an approximately 12 kilometers (km) by 12 km field of view (FOV). Each pixel in the emissions retrieval provide a concentration measurement, which is then represented with a false-color overlay corresponding to the calculated concentration in the examples of concentration maps below.

Figure 2 depicts a measurement on September 25, 2020, by GHGSat C-1. The site of the measurement corresponds to an O&G facility located in New Mexico, USA. The resolution of GHGSat-C1 measurement enables to accurately attribute the source of the detected methane emission. The background (third-party imagery) shows a heavily dense area, mostly O&G infrastructure owned and operated by different companies near one another. The colorimetry of the plume concentration references the methane column-average concentration in excess of the local background level. In this event, the highest concentration were near 200 parts per billion (ppb). The calculated mass emission rate was estimated at 1,190 kg-hr⁻¹ ± 476 kg-hr⁻¹.

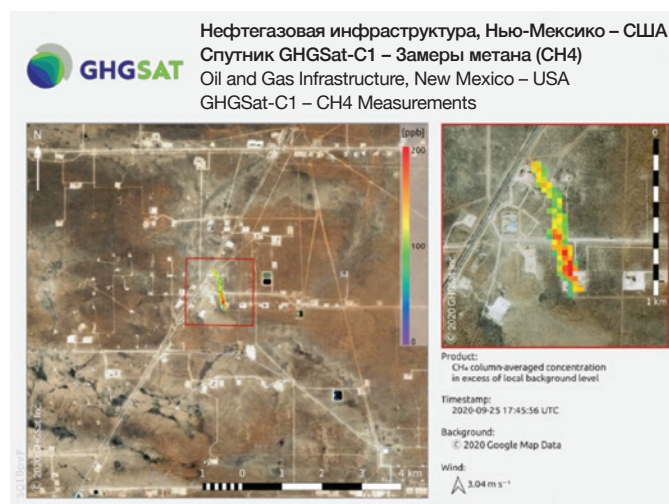


Рис. 2: Измерения, выполненные спутником GHGSat-C1 25 сентября, 2020 г., показывающие средневзвешенную концентрацию метана, превышающую местный фоновый уровень.

Fig. 2: Measurement performed by GHGSat-C1 on September 25, 2020, showing methane column-averaged concentration in excess of local background level.

Figure 3 below shows a measurement made by GHGSat-C2. The region is comparable with that in **Figure 2**, showing multiple O&G infrastructure (all possible sources of emissions) in the FOV. Source attribution was effectively allocated, with a highest methane

соответствует средневзвешенной концентрации метана, превышающей местный фоновый уровень. В этом случае, максимальная концентрация составила приблизительно 200 частей на миллиард. Расчетная скорость выброса массы загрязняющего вещества составила примерно $1\,190\text{ кг/ч}^{-1} \pm 476\text{ кг/ч}^{-1}$.

Рисунок 3, внизу, показывает измерения, выполненные спутником GHGSat-C2. Район приблизительно такой же, как на **рисунке 2**, где в поле зрения находится многочисленная нефтегазовая инфраструктура (все возможные источники выбросов). Источник загрязнения был эффективно найден, с самой высокой средневзвешенной концентрацией метана (превышающей местный фоновый уровень) в районе 125 частей на миллиард. Расчетная скорость выброса массы загрязняющего вещества составила $1250\text{ кг/ч}^{-1} \pm 437\text{ кг/ч}^{-1}$.

В результате этих измерений была определена скорость выброса массы загрязняющего вещества, посредством интегрированного метода повышения массы метана (IME), примененного Вароном и др (Varon, Jacob, et al. 2018). Вариативность в расчете скорости потока массы источника загрязнения (Q) находится в высокой зависимости от местных данных по ветру (Varon, Jacob, et al. 2018), (Varon, Jervis, et al. 2021).

Измерения, показанные на **рисунках 3 и 4**, представляют доказательства эффективности и геолокационной точности данных приборов. Однако, подтверждение данных об уровне выбросов зависит от данных, которые можно получить от оператора, в ходе посещения им места загрязнения. Поэтому, утверждение данной методики и ее расчетов в наилучшей степени может быть достигнуто при использовании контролируемых выбросов.

Контролируемые выбросы

Совместно с компанией TotalEnergies, 29 октября 2020 года, GHGSat приняла участие в слепом тестировании контролируемого выброса. Место проведения испытания и количество выброса контролировалось компанией TotalEnergies, и не было известно в компании GHGSat. После прохождения над зоной спутника GHGSat-C1, утечка была засечена и определена в соответствующих координатах, как раз там, где находился источник выброса. По оценке, средневзвешенная концентрация метана над фоном достигала 200 частей на миллиард. Количественное определение выхода источника по массе (Q) дало $250\text{ кг/ч}^{-1} \pm 140\text{ кг/ч}^{-1}$. Выход по наземному контролю данных составил 234 кг/ч^{-1} . **Рисунок 4** показывает

column-averaged concentration (in excess of the local background level) around 125 ppb. The calculated mass source rate was $1250\text{ kg}\cdot\text{hr}^{-1} \pm 437\text{ kg}\cdot\text{hr}^{-1}$.

From these measurements, the mass emission rate was estimated by using the integrated methane enhancement (IME) method utilized by Varon et al (Varon, Jacob, et al. 2018). The variability in the computation of the source mass rate (Q) is highly dependent on the localized wind data (Varon, Jacob, et al. 2018), (Varon, Jervis, et al. 2021).

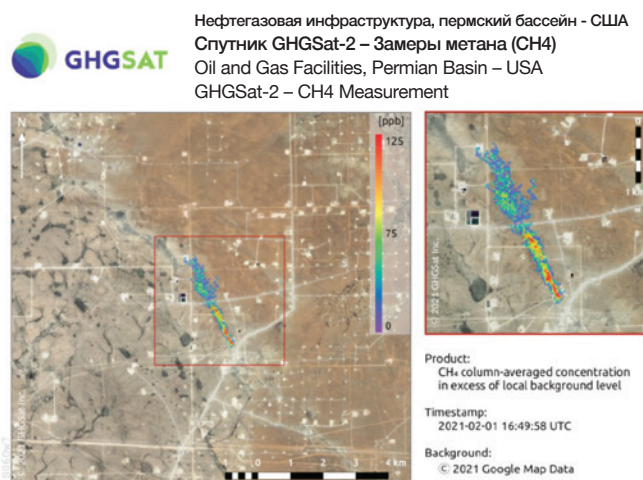


Рис. 3: Измерения, выполненные спутником GHGSat-C2 1 февраля 2021 г, показывающие в искусственной расцветке средневзвешенную концентрацию метана, превышающую местный фоновый уровень.

Fig. 3: Measurement performed by GHGSat-C2 on February 1, 2021, showing false-color methane column-average concentration in excess of local background level.

The measurements depicted in **Figures 3 and 4** provide evidence of effectiveness and geolocation precision of these instruments. However, confirmation of emission rate is dependent on the operator reporting back on their findings when visiting the site. Consequently, validation of the methodology and computation is best achieved by participating in controlled releases.

Controlled Release

In partnership with TotalEnergies, GHGSat participated in a blind controlled release test on October 29, 2020. The test location and release amount were controlled by TotalEnergies and unknown to GHGSat. After the passing of GHGSat-C1 over the area, the leak was detected and identified in the corresponding coordinates where the source of the release was located. Assessment of the methane's column-averaged concentration above background was as high as 200 ppb. The quantification of the source mass rate (Q) was $250\text{ kg}\cdot\text{hr}^{-1} \pm 140\text{ kg}\cdot\text{hr}^{-1}$. The ground truth release rate was $234\text{ kg}\cdot\text{hr}^{-1}$. **Figure 4** depicts the false-color methane concentration overlaid on a base map imagery of the location.

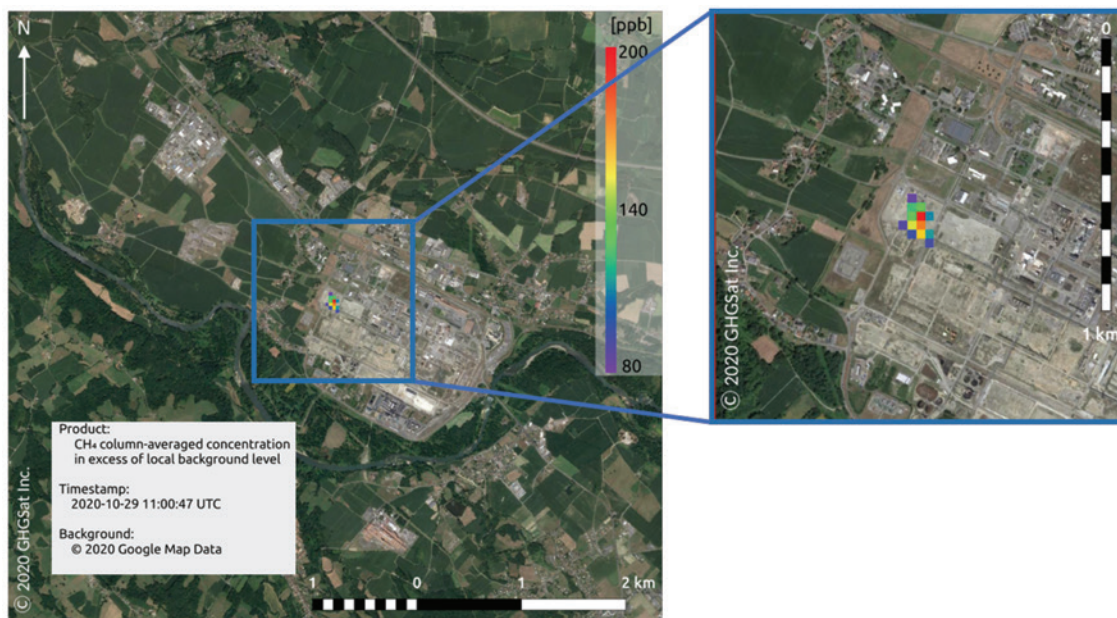


Рис. 4: . Измерения, выполненные спутником GHGSat-C1, во время слепого тестирования контролируемого выброса на объекте TADI компании TotalEnergies, 29 октября, 2020 г., показывающие в искусственном цвете концентрацию, превышающую местный фоновый уровень.
 Fig. 4: Measurement performed by GHGSat-C1 during the blind controlled release test at TotalEnergies's TADI facility on October 29, 2020, showing false-color concentration in excess of local background level.

искусственную расцветку концентрации метана поверх снимка основной карты местности.

Заклучение

Инвестирование в ЭСУ не обязательно означает, что доходность приносится в жертву сверхамбициям. Есть многочисленные примеры выгод и приобретений, полученных от внедрения факторов ЭСУ в работу нефтегазовой компании. Некоторые из таких преимуществ, например, улучшение репутации компании и укрепление доверия у потребителей, могут поначалу казаться малоосозаемыми, но они могут иметь долгосрочное положительное влияние на компанию и сектор экономики в целом. В компаниях в России, и по всему миру, сегодня слышатся рекомендации участников инвестиционного рынка раскрывать отчеты о социально-ответственном развитии, поскольку последние используются в целях выявления рисков, оценки долгосрочных инвестиционных возможностей, и в силу понимания того, что выбросы парниковых газов связаны с непосредственным воздействием на окружающую среду и глобальным потеплением.

Поскольку концентрация метана в атмосфере за последнее столетие выросла, и продолжает расти (Wuebbles and Hayhoe 2002), в высшей степени сегодня актуально искать пути и способы сокращения выбросов метана, имеющие отношение к технологиям работы в нефтегазовом секторе.

Conclusion

Investing in ESG does not necessarily imply that profitability is compromised in support of superior ambitions. There are multiple benefits to implementing ESG factors into the operations of an O&G company. Some of these benefits such as improving corporate reputation and building consumer confidence may seem intangible at the beginning, but they can have a lasting positive impact on the company and the sector. Companies in Russia and throughout the world are now advised by the investment community to disclose sustainability reports, as they can be utilized for risk identification, assessment of long-term investment opportunities, and understanding of the environmental activities associated with greenhouse emissions and global warming.

Since the atmospheric concentration of methane has increased over the last century and continues to increase (Wuebbles and Hayhoe 2002), it is of the upmost relevance to incorporate ways for identifying and minimizing methane emissions associated with the O&G processes. Measurements of atmospheric concentrations of methane from ground, aircraft, and satellite platforms can be used to infer total methane emissions in a region (Allen 2014). However, current ground-based leak detection and repair (LDAR) technologies can achieve low detection thresholds but are limited in the frequency and spatial coverage. When this technology is used in a more frequent basis, the cost-benefit relation becomes far from optimal. An effective tiered monitoring program includes technologies with different capabilities that can be deployed at varying frequencies

Измерения концентрации метана, содержащегося в атмосфере, проводимые с земли, воздуха и со спутниковых платформ могут дополнить общую картину эмиссии метана, характерную для любого конкретного региона (Allen 2014). Однако, несмотря на то, что технологии наземного обнаружения и устранения утечек (LDAR), применяемые в настоящее время, способны улавливать метан на низких порогах обнаружения, они ограничены в плане частоты применения и территориального охвата. Как только данная технология станет использоваться на более широкой и регулярной основе, экономическая эффективность ее станет далеко не оптимальной. Эффективная и многоуровневая программа мониторинга должна включать в себя технологии с различными возможностями, которые могут применяться в различном масштабе с целью оптимизации охвата и затрат. Измерения, выполняемые спутниками, такими как GHGSat, могут способствовать быстрому обнаружению проблемных выбросов метана, причем в огромных территориальных и временных масштабах. Это применимо в связке с авиационными наблюдениями, порог обнаружения у которых тем ниже, а разрешение измерений тем выше, чем они ближе к земле (Esparza and Gauthier 2021). Технологии дронов и оптического обнаружения газов (OGI) помогут в нахождении более мелких источников выбросов. Ограничения по времени наблюдения со спутников могут быть разрешены посредством запуска большего числа спутников в комплексе. Компания GHGSat планирует добавить еще восемь спутников к концу 2022 года, а значит, увеличит частоту измерений, и эффективно сократит время между возможностью их проведения.

Использованная литература:

Дэвид Т. Аллен, 2014 г. «Выбросы метана в добыче и потреблении природного газа: согласование практических и теоретических измерений» Журнал «Current Opinion in Chemical Engineering» (Elsevier) 5: 78-83

Александр Бабкин, Екатерина Малевская-Малевич, Надежда Кваша, и Евгений Елисеев. 2021 г. «Связь между социально ответственным инвестированием и рыночной стоимостью предприятия». E3S Web of Conferences. SDGG.

Адам Р. Брандт, Гарвин А. Хит, и Дэниэл Кули. 2016 г. «Утечки метана из систем снабжения природным газом согласуются с теорией экстремальных значений». «Экологическая наука и технология

Дэниэл Х. Касворт, Райли Дюрен, Эндрю К. Торп, Уинстон Олсон-Дювал, Джозеф Хеклер, Джон У. Чэппмен, Майкл Л. Иствуд, и др., 2021 г. «Периодичность крупных источников эмиссии метана

to optimize coverage and cost. Satellite measurements, like the ones from GHGSat, can assist in the quick detection of methane emissions of concern across large spatial and temporal scales. This can be used in conjunction with airplane campaigns whose detection threshold lowers and resolution increases as measurements are made closer to the ground (Esparza and Gauthier 2021). Drone technology and ultimately optical gas imaging (OGI) measurements will help in finding the smaller emission sources. The limitation on revisit time for satellite measurements can be addressed by increasing the number of satellites in the constellation. GHGSat plans to add at least eight more satellites by the end of 2022, hence, increasing the frequency of measurement and effectively shortening the time between measurement opportunities.

References

Allen, David T. 2014. «Methane emissions from natural gas production and use: reconciling bottom-up and top-down measurements.» Current Opinion in Chemical Engineering (Elsevier) 5: 78-83. doi:https://doi.org/10.1016/j.coche.2014.05.004.

Babkin, Alexander, Ekaterina Malevskaia-Malevich, Nadezhda Kvasha, and Evgenii Eliseev. 2021. «The relationship between socially responsible investment and the market value of an enterprise.» E3S Web of Conferences. SDGG. doi:https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129101002.

Brandt, Adam R., Garvin A. Heath, and Daniel Cooley. 2016. «Methane leaks from natural gas systems follow extreme distributions.» Environmental Science and Technology. doi:DOI: 10.1021/acs.est.6b04303.

Cusworth, Daniel H., Riley M. Duren, Andrew K. Thorpe, Winston Olson-Duvall, Joseph Heckler, John W. Chapman, Michael L. Eastwood, et al. 2021. «Intermittency of large methane emitters in the Permian basin.» Environmental Science and Technology Letters. doi:https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00173.

Dubrova, M. V., L. V. Gusarova, N. N. Zhylina, M. R. Shamsutdinova, and V. G. Ignatyev. 2021. «Financial instruments of «green» economy development in Russia.» E3S Web of Conferences. ITEEA. doi:https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126204002.

Esparza, Ángel E., and Jean-François Gauthier. 2021. «Monitoring leaks at oil and gas facilities using the same sensor on aircraft and satellite platforms.» SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference. Houston. doi:https://doi.org/10.15530/urtec-2021-5666.

Frankenberg, C., J. F. Meirink, M. van Weele, U. Platt, and T. Wagner. 2005. «Assessing methane emissions from global space-borne observations.» Science 308 (5724): 101-1014. doi:DOI: 10.1126/science.1106644.

в пермском бассейне.», «Экологическая наука и технология» Письма.

М.В. Дуброва, Л.В. Гусарова, Н.Н. Жилина, М.Р. Шамсутдинова, и В.Г. Игнатьев. 2021 г. «Финансовые инструменты развития «зеленой» экономики в России.» E3S Web of Conferences. ITEEA.

Анхель Э. Эспарса, и Жан-Франсуа Готье. 2021 г. «Мониторинг утечек на объектах нефтегазовой инфраструктуры с помощью однотипного датчика на летательном аппарате и платформе спутника». Конференция по технологиям нетрадиционных ресурсов. Хьюстон, штат Техас.

К. Франкенберг, Дж.Ф. Мейринк, М. ван Уилл, У. Платт, и Т. Вагнер. 2005 г. «Оценка выбросов метана по данным глобальных космических наблюдений» Наука 308 (5724).

Дилан Джервис, Джейсон Маккивер, Берк О.А. Дьюрак, Джеймс Дж. Слоун, Дэвид Гейнс, Дэниэл Дж. Варон, Антуан Рамье, Матиас Страплер, и Эван Таррант. 2021 г. «Видеоспектрометр спутника GHGSat-D» Технические способы контроля за состоянием атмосферы (Европейский союз наук о Земле).

Анна Кэрион, Колм Суини, Эрик А. Корт, Пол Б. Шепсон, Алан Брюер, Мария Камбализа, Стивен А. Конли, и др., 2015 г. «Авиационная оценка общих выбросов метана в районе месторождения Барнетт-Шейл.» «Экологическая наука и технология» 49: 8124-8131.

Майкл Лигори, Лора Брэдбери, Роберт Спина, Роберт Э. Зи, и Стефан Гермейн. 2019 г. «Группа спутников GHGSat: Будущее мониторинга выбросов парникового газа». 33-я ежегодная конференция Американского аэроавиатики и астронавтики/ Университета штата Юта по малым спутникам.

Джейсон Маккивер, Дилан Джервис, и Матиас Страплер. 2020 г. «Обнаружение загадочных утечек метана из космоса.» «Спектр IEEE», 27 октября. Аттестовано 8 августа, 2021 г.

Дж. Пейшл, А. Кэрион, К. Суини, Е.А. Корт, М.Л. Смит, А.Р. Брандт, Т. Еску, и др., 2016 г. «Количественное определение выбросов метана на объектах нефте-и газодобычи в районе месторождения Баккен Шейл, Северная Дакота». Журнал геофизических исследований атмосферы.

Татьяна Пономаренко, Оксана Маринина, Марина Невская, и Кристина Курякова. 2021 г. «Разработка методов оценки корпоративной социально-экологической ответственности для компаний нефтегазового сектора». «Экономия» (MDPI) 9 (58)

Jervis, Dylan, Jason McKeever, Berke O.A. Durak, James J. Sloan, David Gains, Daniel J. Varon, Antoine Ramier, Mathias Strupler, and Ewan Tarrant. 2021. «The GHGSat-D imaging spectrometer.» Atmospheric Measurement Techniques (EGU) 14: 2127-2140. doi:https://doi.org/10.5194/amt-14-2127-2021.

Karion, Anna, Colm Sweeney, Eric A. Kort, Paul B. Shepson, Alan Brewer, Maria Cambaliza, Stephen A. Conley, et al. 2015. «Aircraft-based estimate of total methane emissions from the Barnett shale region.» Environmental Science and Technology 49: 8124-8131. doi:https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00217.

Ligori, Michael, Laura Bradbury, Robert Spina, Robert E. Zee, and Stephane Germain. 2019. «GHGSat Constellation: The future of Monitoring greenhouse gas emissions.» 33rd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites.

McKeever, Jason, Dylan Jervis, and Mathias Strupler. 2020. «Spotting mystery methane leaks from space.» IEEE Spectrum, October 27. Accessed August 08, 2021. https://spectrum.ieee.org/spotting-mystery-methane-leaks-from-space.

Peischl, J., A. Karion, C. Sweeney, E. A. Kort, M. L. Smith, A. R. Brandt, T. Yeskoo, et al. 2016. «Quantifying atmospheric methane emissions from oil and natural gas production in the Bakken shale region of North Dakota.» Journal of Geophysical Research: Atmospheres 121: 6101-6111. doi:10.1002/2015JD024631.

Ponomarenko, Tatyana, Oksana Marinina, Marina Nevskaya, and Kristina Kuryakova. 2021. «Developing corporate sustainability assessment methods for oil and gas companies.» Economies (MDPI) 9 (58). doi:https://doi.org/10.3390/economies9020058.

Reuters. 2021. «Putin calls for Russian greenhouse gas emissions to be lower than EU's.» Reuters - Environment, April 21. Accessed 08 05, 2021. https://www.reuters.com/business/environment/putin-says-russias-greenhouse-gas-emissions-should-be-lower-than-eus-2021-04-21/. —. 2021. «Russia's central bank advises companies to disclose ESG agenda.» Reuters - Sustainable Business, July 19. Accessed August 05, 2021. https://www.reuters.com/business/sustainable-business/russias-central-bank-advises-companies-disclose-esg-agenda-2021-07-19/.

Schwietzke, Stefan, Gabrielle Pétron, Stephen Conley, Cody Pickering, Ingrid Mielke-Maday, Edward J. Dlugokencky, Pieter P. Tans, et al. 2017. «Improved mechanistic understanding of natural gas methane emissions from spatially resolved aircraft measurements.» Environmental Science and Technology 51: 7286-7294. doi:https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01810.

Рейтер. 2021 г. «Путин поручил предусмотреть снижение объема выбросов парниковых газов до уровней ниже ЕС» Рейтер – Окружающая среда, 21 апреля. Аттестация 8 мая, 2021 г. —. 2021 г. «Российский центральный банк рекомендует компаниям раскрывать планы по ЭСУ». Рейтер – Социально-ответственный бизнес, 19 июля. Аттестация 5 августа, 2021 г.

Штефан Швитцке, Габриэлла Петрон, Стивен Конли, Коди Пикеринг, Ингрид Мильке-Мэдей, Эдвард Дж. Длугокенски, Питер П.Тэнс, и др., 2017 г. «Лучшее понимание механики выбросов метана природным газом посредством измерений пространственно-разрешенной спектроскопии на летательных аппаратах». «Экологическая наука и технология 51: 7286-7294

Дж.Шумейкер, Д.П.Шраг, М.Дж.Молина, и В.Раманатан. 2013 г. «Какую роль играют в политике уменьшения глобальных изменений климата нестойкие загрязнители?» Американская ассоциация содействия развитию науки 342 (6164): 1323-1324.

Томас Ф.Стокер, Кин Дае, Джан-Каспер Платтнер, М.Тигнор, и С.К.Аллен. 2013 г. МГЭИК, 2013 г.: Изменение климата в 2013 г. : Основы естествознания. Вклад рабочей группы I в Пятый доклад об оценке изменения климата на заседании межправительственной комиссии по изменению климата. Кембридж, Великобритания и Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США, Издательство Кембриджского университета.

Управление по охране окружающей среды США. 2019 г. «Прогнозные показатели и снижение глобальных выбросов парниковых неуглеводородных газов: 2015 – 2050 гг.»

Дэниел Дж. Варон, Дэниел Дж.Джекоб, Джейсон Маккивер, Дилан Джервис, Берк О.А.Дьюрак, Ян Ксиа, и И Хуан. 2018 г. «Количественное определение отдельных источников выброса метана наблюдением со спутников с высоким разрешением за газовыми потоками метана.» Способы и методы контроля за состоянием атмосферы 11 5673-5686

Дэниел Дж. Варон, Дилан Джервис, Джейсон Маккивер, Ян Спенс, Дэвид Гейнс, и Дэниел Дж.Джекоб. 2021 г. «Высокочастотный мониторинг аномальных источников выброса метана посредством наблюдения с многоспектрального спутника Sentinel-2.» Способы и методы контроля за состоянием атмосферы 14: 2771-2785.

Дональд Дж. Уэбблс, и Кэтрин Хейхо. 2002 г. «Атмосферный метан и глобальные изменения». «Earth Science Reviews (сборник статей по землеведению)» (Elsevier Science B.V.) (57): 177-210

Shoemaker, J. K., D. P. Schrag, M. J. Molina, and V. Ramanathan. 2013. «What role for short-lived climate pollutants in mitigation policy?» American Association for the Advancement of Science 342 (6164): 1323-1324. doi:https://doi.org/10.1126/science.1240162.

Stocker, Thomas F., Qin Dahe, Gian-Kasper Plattner, M. Tignor, and S.K. Allen. 2013. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,: Cambridge University Press.

United States Environmental Protection Agency. 2019. «Global Non-CO2 Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation: 2015-2050.» https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases.

Varon, Daniel J., Daniel J. Jacob, Jason McKeever, Dylan Jervis, Berke O. A. Durak, Yan Xia, and Yi Huang. 2018. «Quantifying methane point sources from fine-scale satellite observations of atmospheric methane plumes.» Atmospheric Measurement Techniques 11: 5673-5686. doi:https://doi.org/10.5194/amt-11-5673-2018.

Varon, Daniel J., Dylan Jervis, Jason McKeever, Ian Spence, David Gains, and Daniel J. Jacob. 2021. «High-frequency monitoring of anomalous methane point sources with multispectral Sentinel-2 satellite observations.» Atmospheric Measurement Techniques 14: 2771-2785. doi:https://doi.org/10.5194/amt-14-2771-2021.

Wuebbles, Donald J., and Katharine Hayhoe. 2002. «Atmospheric methane and global change.» Earth-Science Reviews (Elsevier Science B.V.) (57): 177-210. Yacovitch, Tara I., Scott C. Herndon, Joseph R. Roscioli, Cody Foerchinger, Ryan M. McGovern, Michael Agnese, Gabrielle Pétron, et al. 2014. «Demonstration of an ethane spectrometer for methane source identification.» Environmental Science Technology 48: 8028-8034. doi:https://doi.org/10.1021/es501475q.

Тара И. Якович, Скотт С. Херндон, Джозеф Р.Росиоли, Коди Ферчингер, Райан М.Макгаверн, Майкл Аньезе, Габриэлла Петрон, и др., 2014 г. «Демонстрация этанового спектрометра для определения источников выброса метана.» Environmental Science Technology (Технология экологических наук) 48: 8028-8034

