



Мониторинг пространственно-временных
вариаций тепловых полей
при добыче и переработке углеводородов
при помощи мультиспектрального ночного
дистанционного зондирования Земли

Матвеев А.М.¹, Жижин М.Н.^{2,3}, Пойда А.А.⁴

(1) РАНХиГС

(2) Институт космических исследований РАН

(3) Университет Колорадо в Боулдере

(4) Курчатовский институт

Актуальность и решаемые задачи

- Сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ) — экономически нерациональный и экологически опасный способ его утилизации. На его долю приходится $\sim 1\%$ мировой эмиссии CO_2 [Boden et al., 2017] и $\sim 4\%$ эмиссии сажи [Weyant et al., 2016].
- У большинства приборов учёта расхода сжигания ПНГ («расходомеров») на месторождениях возможна погрешность, обуславливающая ошибку в измерениях до 30% [Руденко, 2014; Книжников, Ильин, 2017] *при условии правильной эксплуатации*. До недавнего времени многие факелы в России (до 50%) не были оснащены расходомерами [Книжников, Ильин, 2017].
- Статистика по ПНГ является коммерческой тайной нефтегазовых компаний [Нижегородов, 2017]; она сообщается Росприроднадзору и редко доступна в открытом виде, особенно в разрезе конкретных месторождений.
- Вследствие этого существует необходимость независимого инструментального контроля над объёмами сжигания ПНГ, в роли которого могут выступать методики ДЗЗ.
- В настоящей работе используется методика оценки объёмов сжигания ПНГ VIIRS Nightfire (VNF) [Elvidge et al., 2016]. Будучи мультиспектральной по природе, она опирается на ночные измерения (днём сигнал от теплового источника в ближнем ИК «зашумлён»), что позволяет улучшить чувствительность фиксации параметров тепловых аномалий.

Актуальность и решаемые задачи

НЕФТЬ КАПИТАЛ «Попутный» налог для нефтехимии Аналитика



«Попутный» налог нефтехимии

6 ноября, 16:32 Екатерина Вадимова

НДПИ на попутный нефтяной газ
инвестиций в нефтехимию
уровня утилизации и пове

заместитель директора Фонда национальной энергетической безопасности **Алексей Гривач** в комментарии для «Ник» отметил, что ситуация с принятием НДПИ на попутный нефтяной газ складывается нехорошая, поскольку подрывает экономику проектов по переработке этого сырья. «Данные проекты позволяли одновременно решить несколько важных задач: экологическую (сократить сжигание ПНГ), повысить эффективность использования ресурсов и развития глубины переработки», — напомнил эксперт.

По его словам, если нефтяники снизят утилизацию ПНГ, это приведет либо к дефициту сырья для некоторых нефтехимических проектов, либо к повышению его стоимости и, как следствие, снижению конкурентоспособности российской продукции.

«Кроме того, есть риски, что компании опять начнут потихоньку сжигать ПНГ и тем самым избегать налога. Поэтому введение налога на продукт, где государство только что стимулировало утилизацию, выглядит стратегически нелогичным и должно быть четко аргументировано»

МОСКВА, 8 ноя - РИА Новости. Крупнейшие российские нефтяные компании намерены обратиться к президенту страны **Владимиру Путину**, с критикой идеи Минфина ввести налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ) для попутного нефтяного газа (ПНГ), следует из имеющегося в распоряжении РИА Новости подготовленного письма, подлинность которого подтвердили в двух нефтекомпаниях.

Минфин РФ пытается найти источники компенсации госбюджету 60 миллиардов рублей из-за налоговых льгот «Газпром нефти». В меньшей мере, ...

«Помимо уменьшения объемов рентабельной добычи нефти, в особенности трудноизвлекаемых запасов, данная мера ставит под сомнение целесообразность строительства объектов малой генерации на месторождениях, использующих ПНГ при выработке энергии для собственного потребления. Введение налога для закачиваемого в пласт ПНГ приведет к многократному налогообложению одних и тех же объемов», - сообщается в письме.

Таким образом, направленный на стимулирование добычи нефти законопроект одновременно окажет резкий негативный эффект на всю отрасль, приведет к ухудшению как производственных показателей, так и экологии. При этом авторы письма утверждают, что заявления Минфина о падающих доходах бюджета не подтверждаются расчетами. По их мнению, они могут возникнуть лишь на начальном этапе инвестиций, но чей эффект льгот Приобскому месторождению все компенсирует.

Источник: «Нефть и Капитал», 06.11.2019.

URL: <https://oilcapital.ru/article/general/06-11-2019/poputnyy-nalog-dlya-neftehimii>

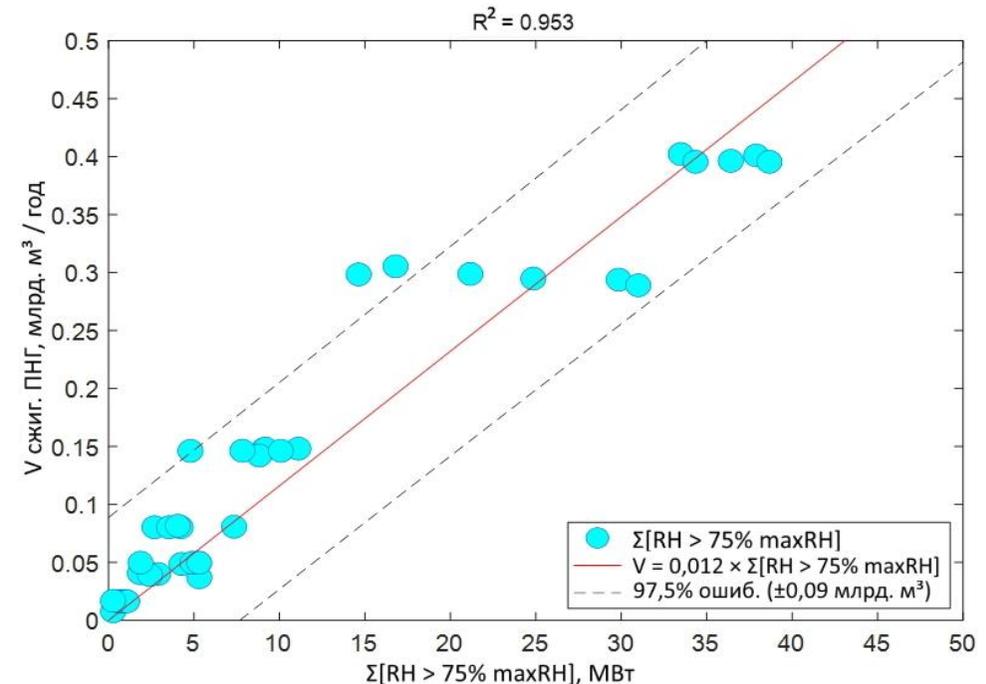
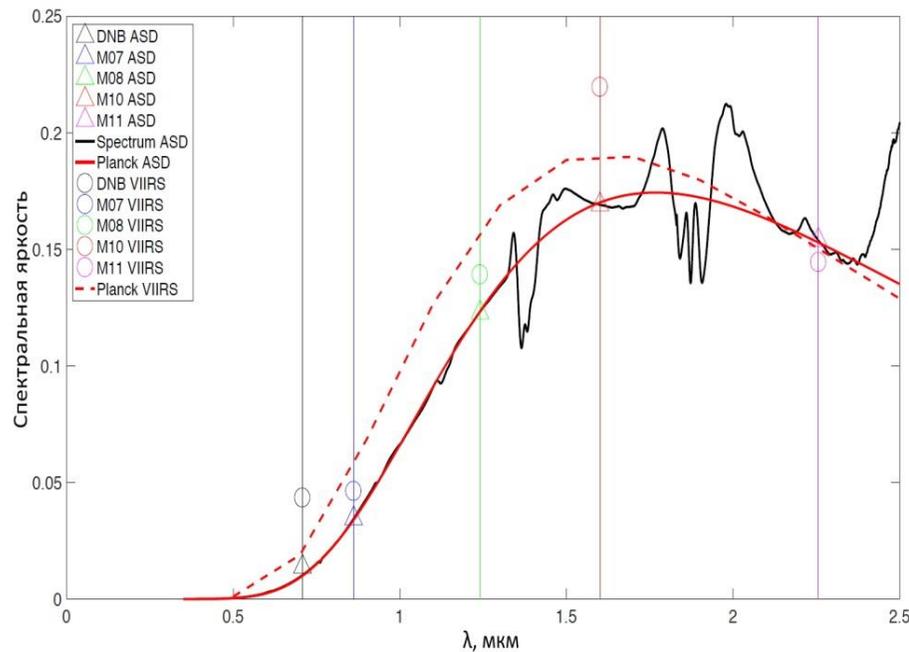
Источник: «РИА Новости», 08.11.2019.

URL: <https://ria.ru/20191108/1560697581.html>

Актуальность и решаемые задачи

- Верифицировать методику VIIRS Nightfire:
 - Экспериментальная верификация на тестовом хозяйстве, сжигающем метан;
 - Экспериментальная верификация в условиях действующего НПЗ;
 - Верификация на примере сравнения с данными официальной отчётности.
- Проверить возможность фиксации изменений в стадии разработки месторождения (разведка, эксплуатация, аварийные события).
- Проверить предположение о возможном наличии корреляции оценок объёмов сжигания ПНГ с объёмами добычи нефти.
- + Были обработаны данные по каталогу газовых факелов России за 2018 год.

Экспериментальная верификация алгоритма: тестовое факельное хозяйство, Оклахома, США (предварительные результаты) [Zhizhin et al., 2019]



Спектрометры, видимый — ближний и средний ИК:

- Красный пунктир — VIIRS;
- Чёрный — наземный гиперспектрометр

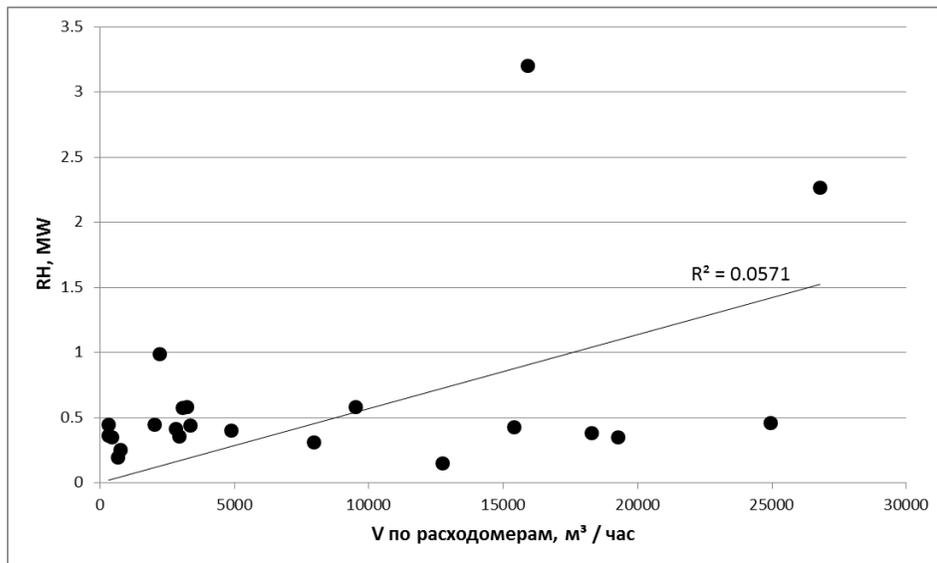
(Отклонение спектра наземного спектрометра преимущественно приходится на окна поглощения водяного пара.)

Корреляция фиксируемой энергии излучения факела (RH, МВт) с расходом смеси М в час (эквивалент млрд. м³ / год)

(учитываются все пиксели с показателем RH > 75% от самого «яркого» пикселя)

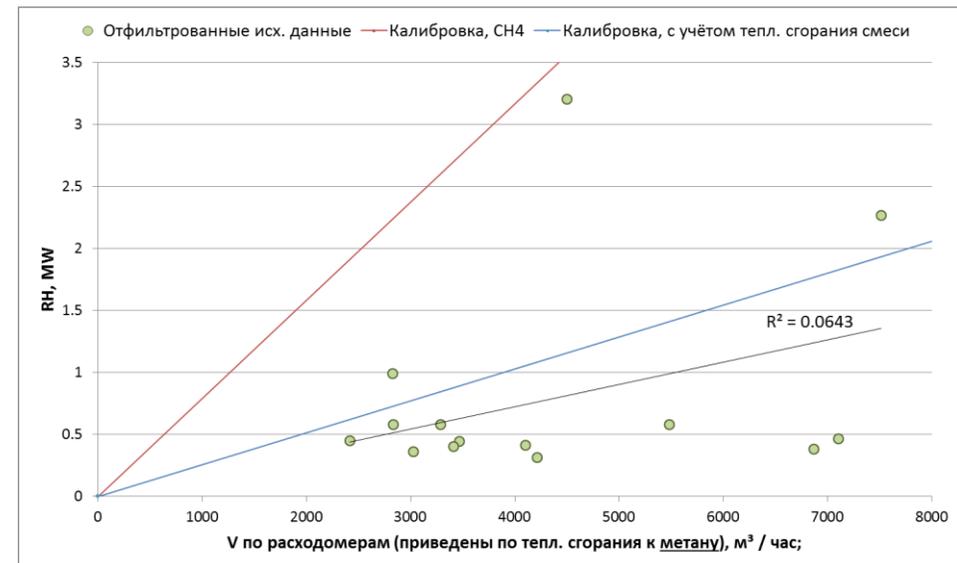
Экспериментальная верификация алгоритма: действующий НПЗ («Башнефть-Уфанефтехим», респ. Башкирия)

- В качестве тестовой была выбрана факельная установка, куда направляются сбросы с установки по подготовке водорода (УПВ). Были доступны данные только на выходе из двух компрессоров (два расходомера), перед факельной ёмкостью и самим газовым факелом.
- Данные получены за 2015–2019 гг.



Исходная корреляция без преобразований:

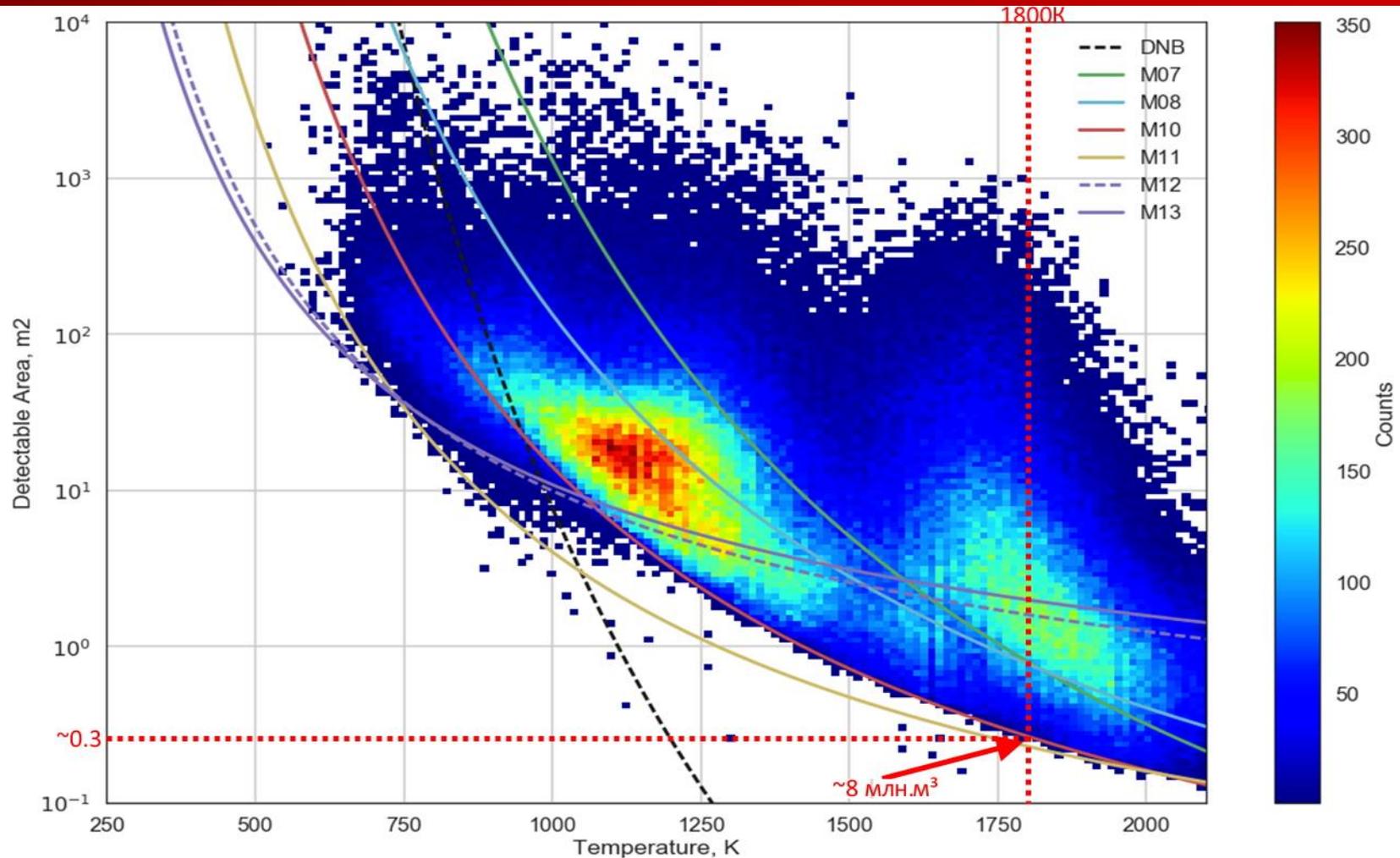
- По x — расход по сумме расходомеров;
- По y — RH , МВт.



Отфильтрованная корреляция:

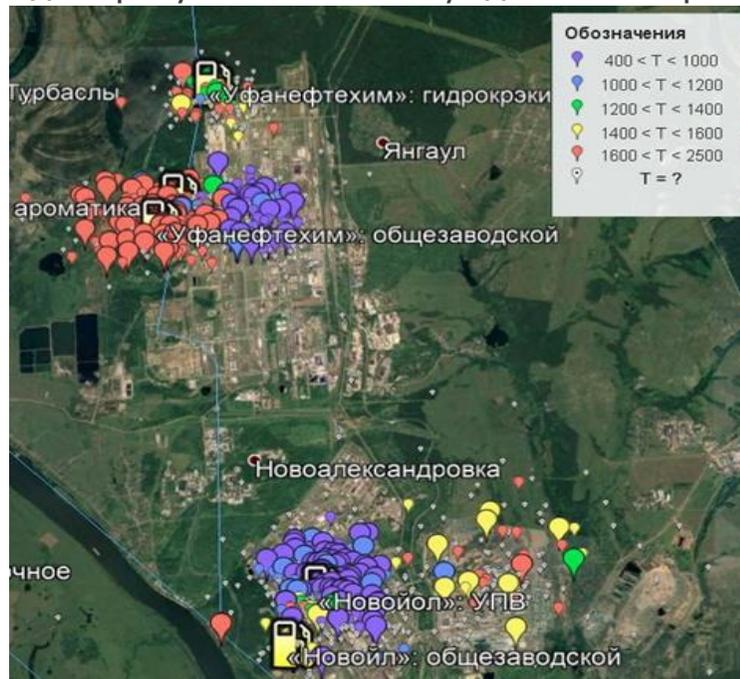
- Исключены аномальные точки;
- Учтён состав смеси (преобладание H_2) путём учёта низшей удел. теплоты сгорания (получена на месте).

Методика: порог чувствительности алгоритма Nightfire [Elvidge et al., 2019]



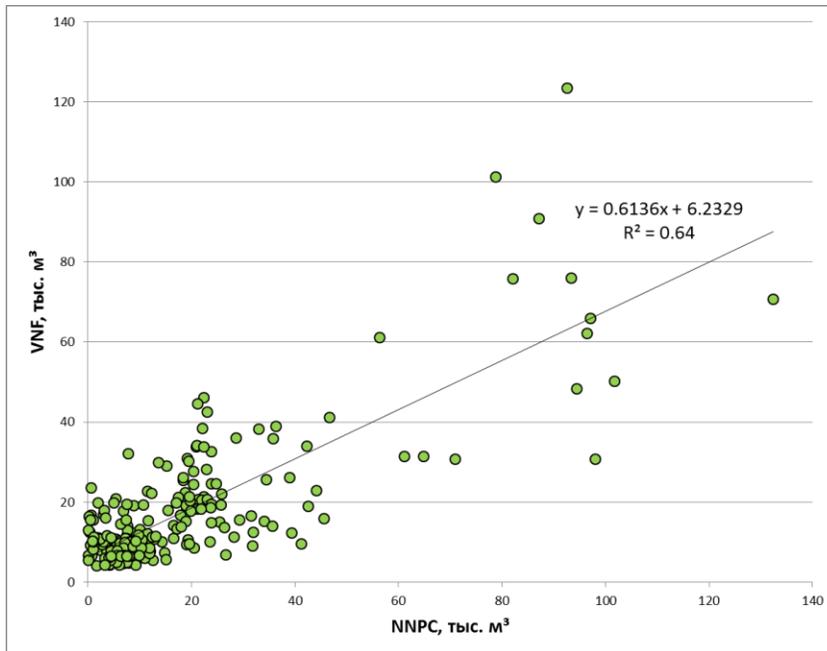
Возможные причины наблюдаемой картины:

- 1) Объёмы сжигания на данном факеле находятся на границе чувствительности методики;
- 2) Присутствие других «хотспотов» с более низкой температурой (точка «Новойл»: УПВ» на рисунке слева);
- 3) Принципиальное различие в составе сжигаемой смеси: на НПЗ преимущественно сжигается водород. Он обладает более низкой удельной теплотой сгорания (УТС) в ср. с CH_4 по объёму сгораемого в-ва;
- 4) Возможные проблемы с калибровкой расходомеров;
- 5) Расходомеры установлены *перед* газовым факелом (приблизительная схема — рисунок справа).



Верификация алгоритма: другие источники [Hodgson, 2018; Caseiro et al., 2018]

Нигерия, 2012–2016 гг. [Hodgson, 2018]:

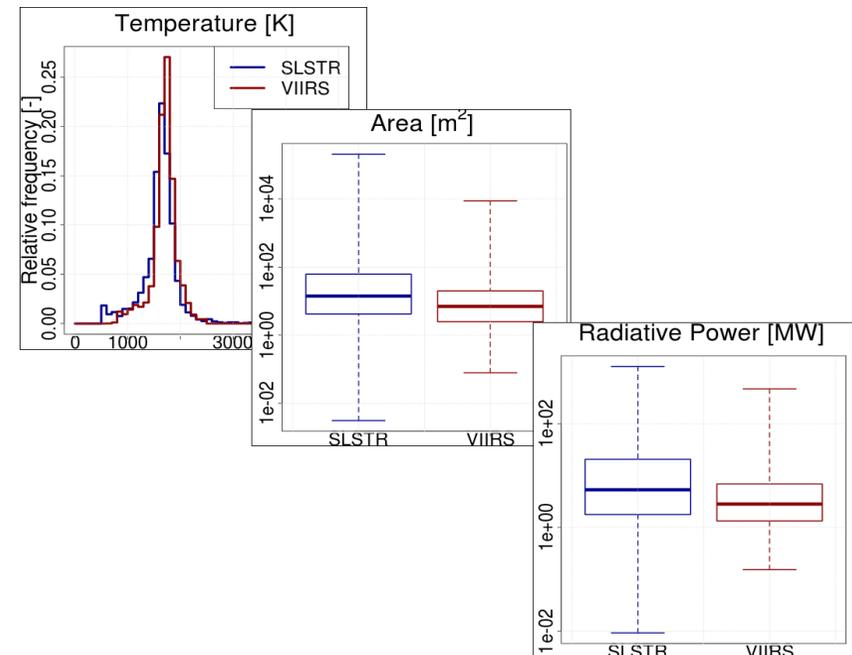


Коррелируемость оценок VNF с отчётами NNPC — Nigerian National Petroleum Corporation:

- По x — данные NNPC;
- По y — оценки VNF.

($R^2 = 0,64$ (использовано переработ. корреляц. уравнение).)

Сравнение SLSTR и VIIRS Nightfire [Caseiro et al., 2018]:



Сравнение алгоритма Nightfire, адаптированного для SLSTR (Sentinel-3), с исходным VNF:

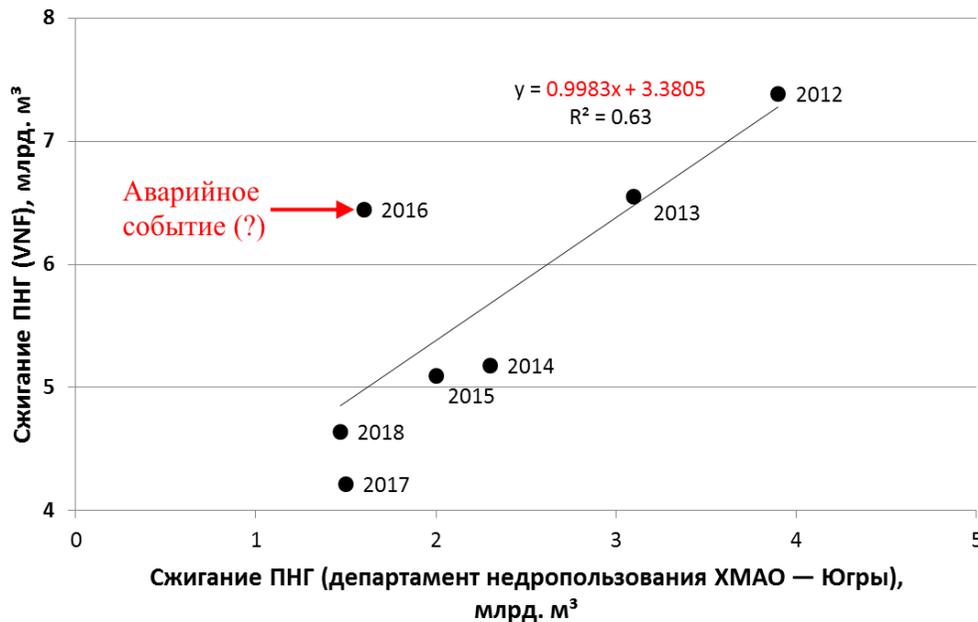
- Алгоритм Nightfire частично изменён;
- VIIRS NF завышает T , занижает S и RH источника.

(Представлено сравнение на примере Персидского залива.)

Коррелируемость оценок VNF с отчётностями: пример ХМАО — Югры

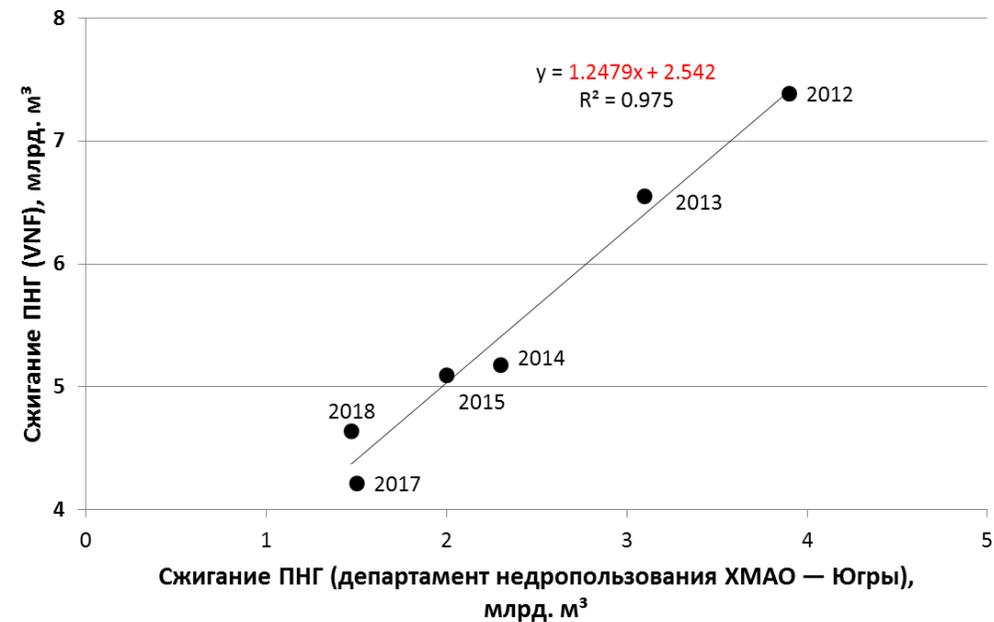
Для корреляции использованы данные, предоставляемые Департамента недропользования ХМАО

Корреляция объёмов сжигания по ХМАО — Югре



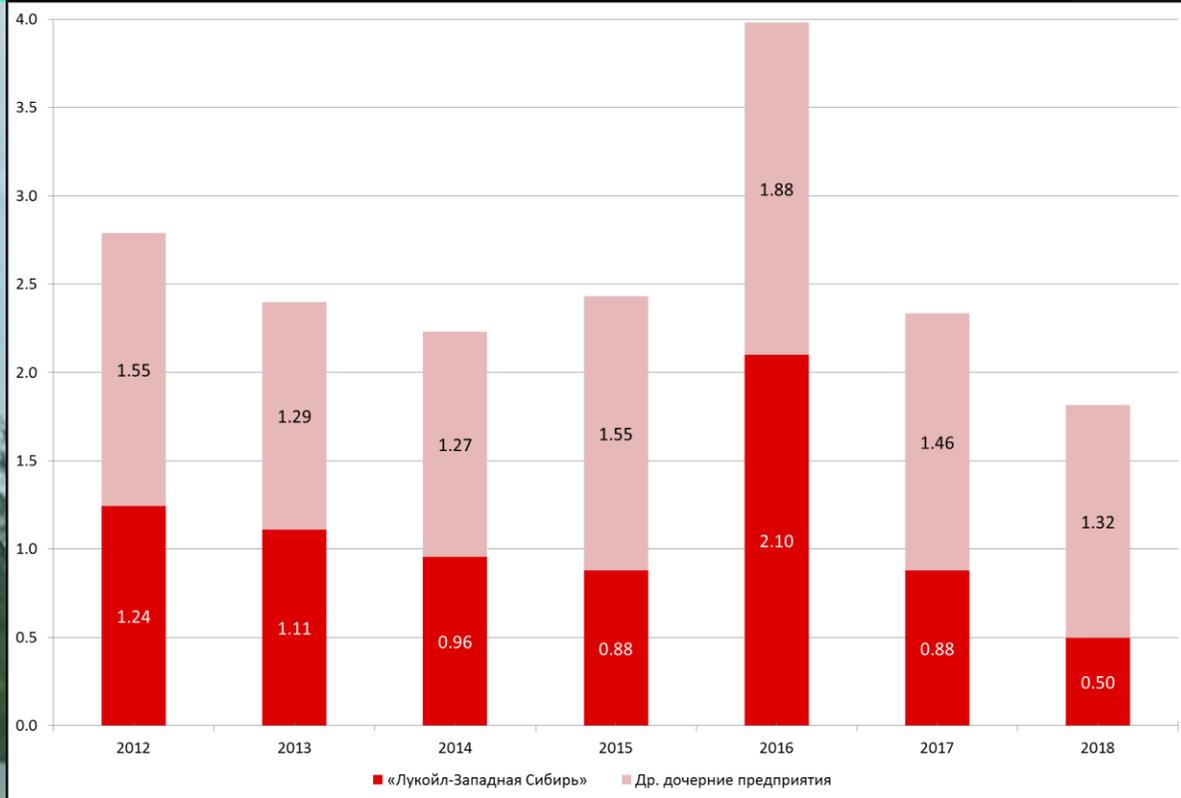
Данные с учётом 2016 г.
(аварийного события)

Корреляция объёмов сжигания по ХМАО — Югре



Данные без учёта 2016 г.
(аварийного события)

Изменение в режиме работы газовых факелов: пример аварийного события



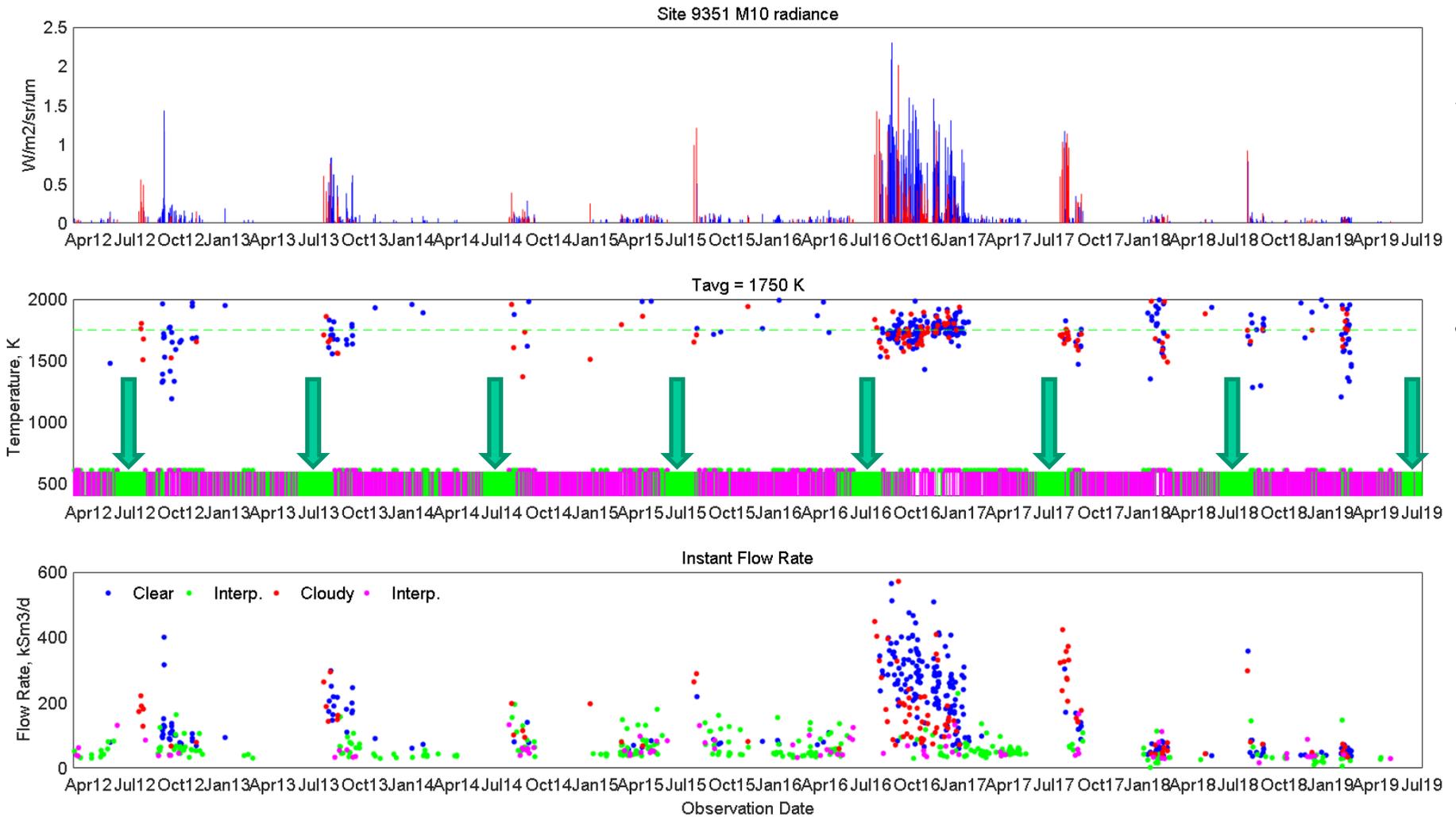
- ХМАО: Пожар на Локосовском ГПЗ, «ЛУКОЙЛ», Лангепас, 29.06.2016;
- ГПЗ возобновил работу в серед. янв. 2017 г.

Сжигание ПНГ по дочерним компании «ЛУКОЙЛ» (в млрд. м³):

- Красным — «Лукойл-Западная Сибирь»;
- Бледно-розовым — другие дочерние структуры.

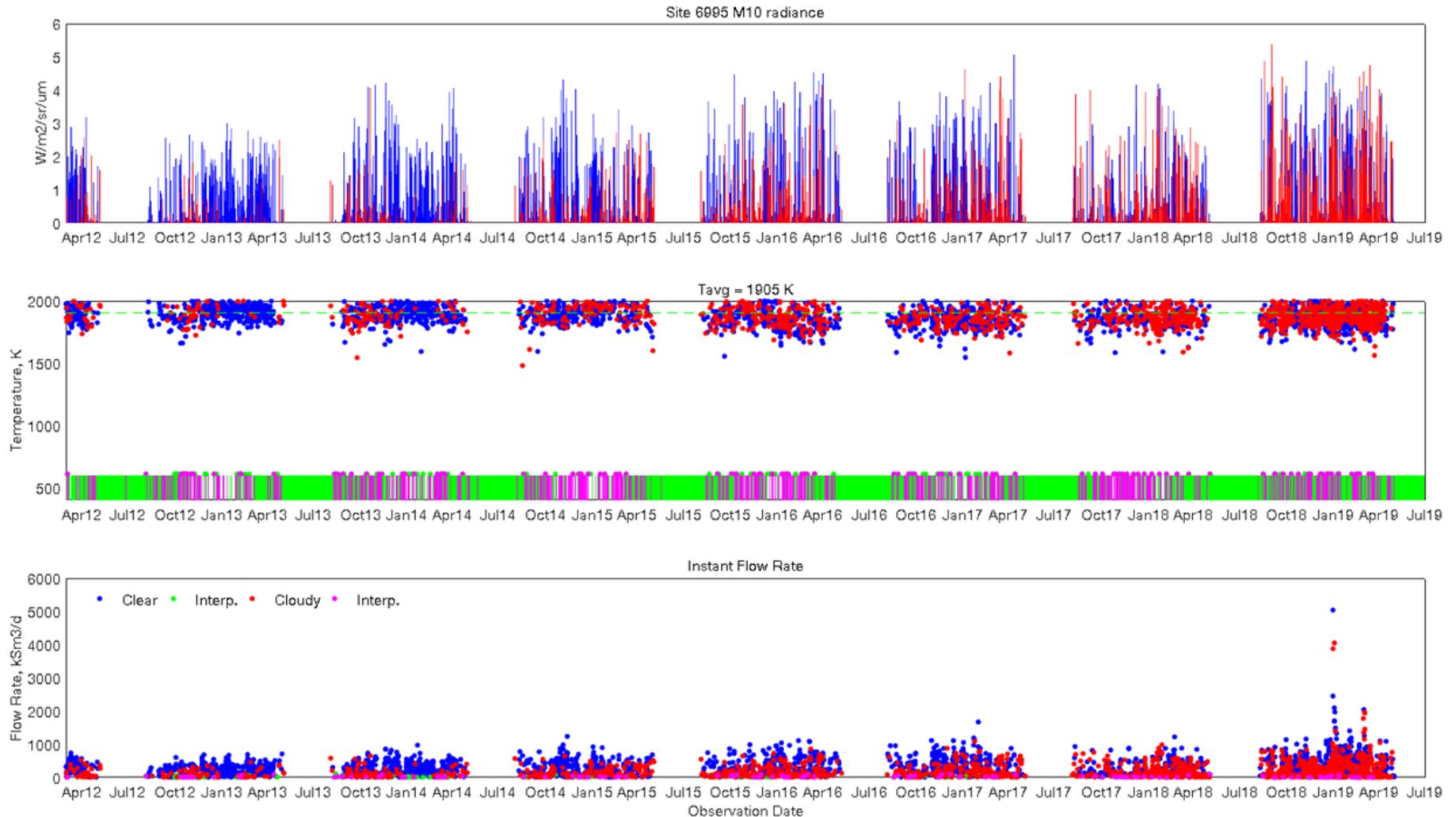
На ГПЗ поступает ПНГ с 12 месторождений. На большинстве из них нами зафиксированы скачки в сжигании газа.

Временной ряд: Южно-Ягунское месторождение, г. Когалым (~62° с. ш.)

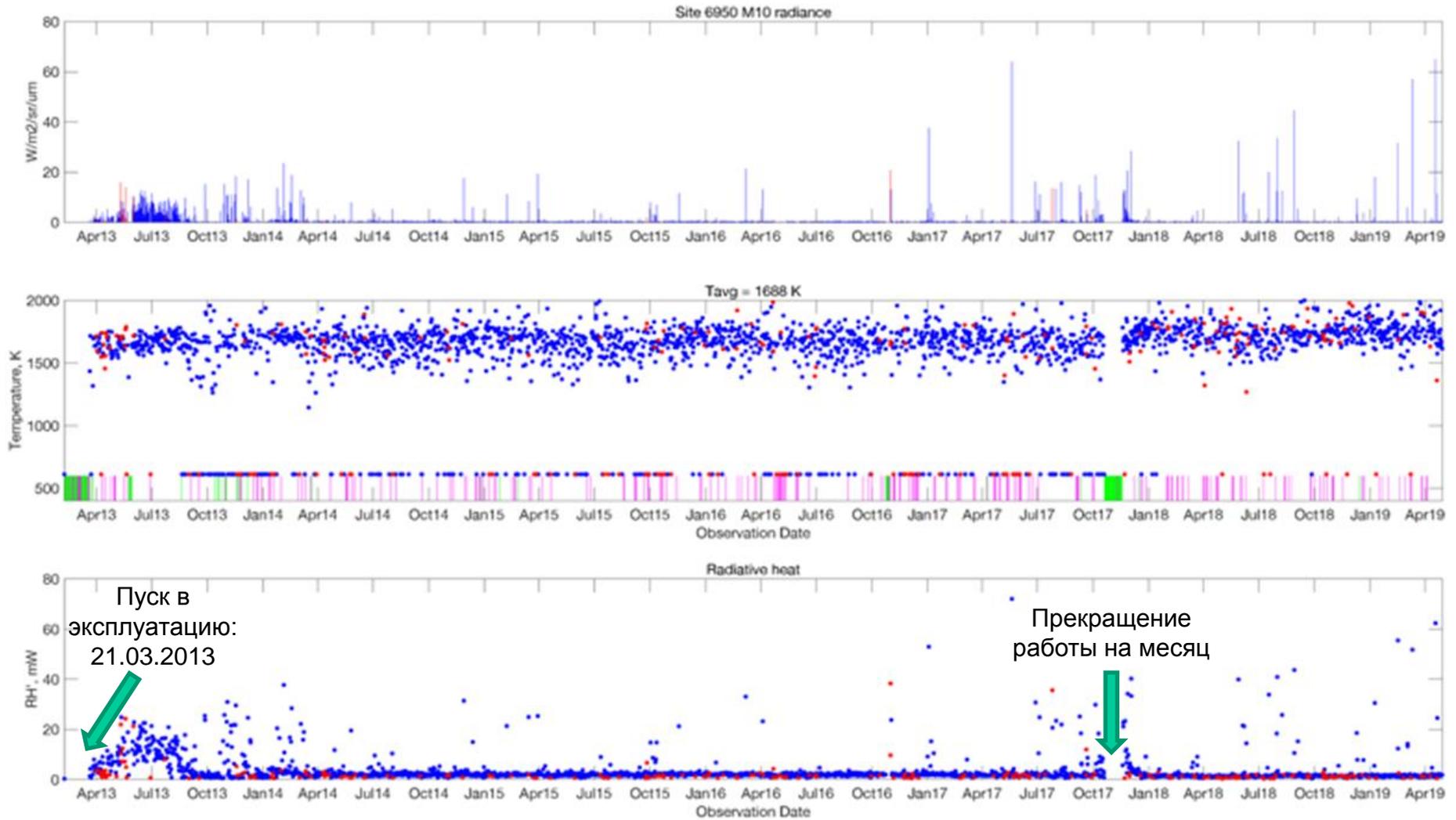


(ЗЕНИТНЫЙ УГОЛ СОЛНЦА < 96°)
 БЕЛЫЕ НОЧИ

Временной ряд: Харьягинское месторождение, Ненецкий АО (~67° с. ш.)

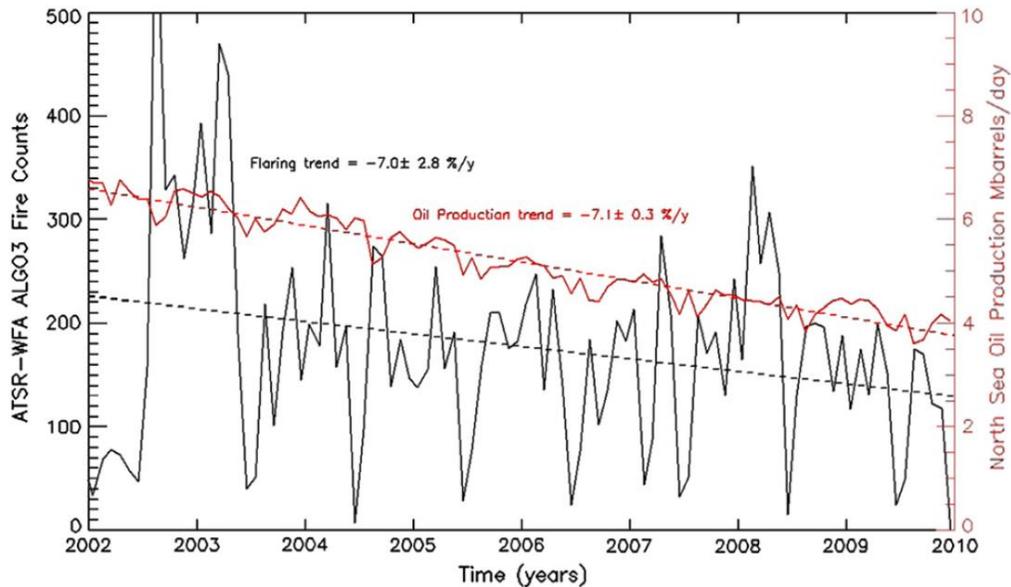


Временной ряд: газовый факел в Алжире [Zhizhin et al., 2019]



Оценки сжигания ПНГ по ДЗЗ vs объёмы добычи нефти: previous art [Casadio et al., 2012; Faruolo et al., 2014; Do et al., 2018]

Северное море, ATSR, 2002–2010 гг. [Casadio et al., 2012]:

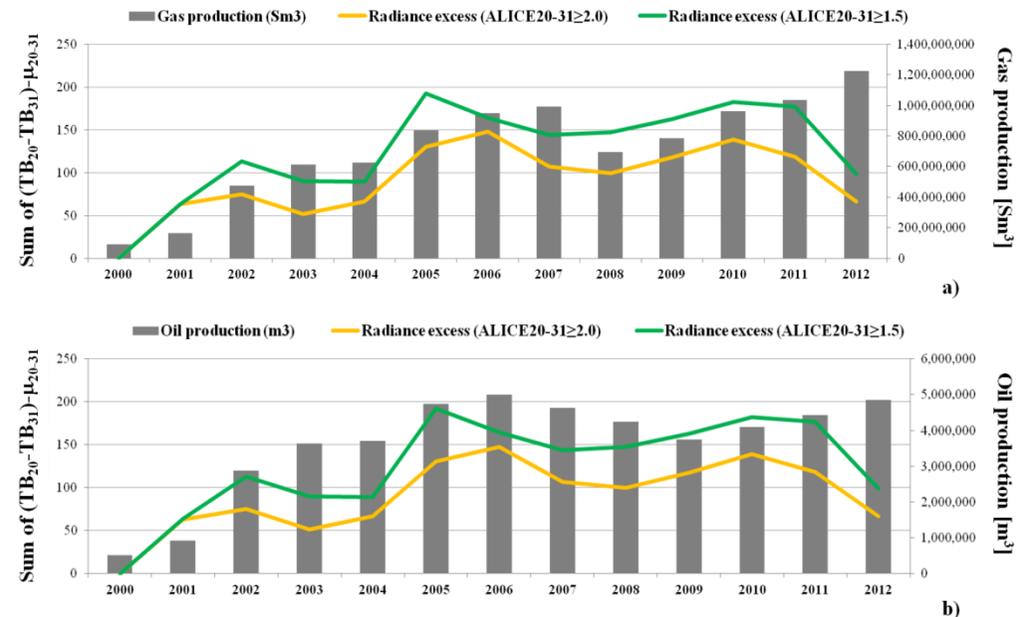


Сравнение трендов сжигания ПНГ (по ATSR)
vs объёмов добычи нефти (EIA):

- Чёрным — число детекций, в ср. со сред.;
- Красным — добыча нефти, млн. бар. / день.

(Авторы отметили корреляцию с учётом сезонности сжигания.)

Италия, MODIS, 2000–2012 гг. [Faruolo et al., 2014]:



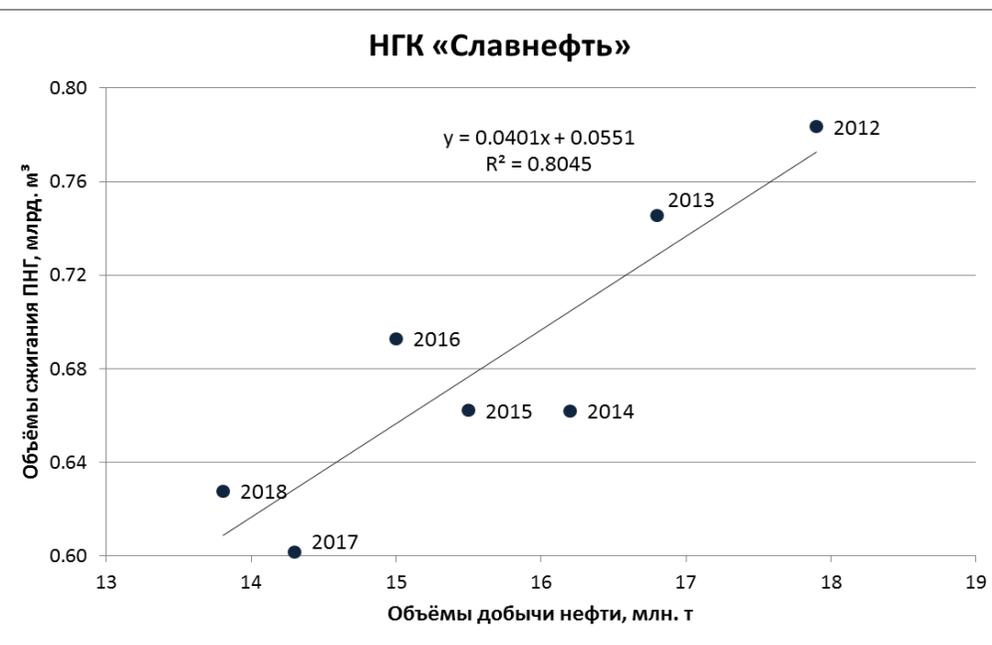
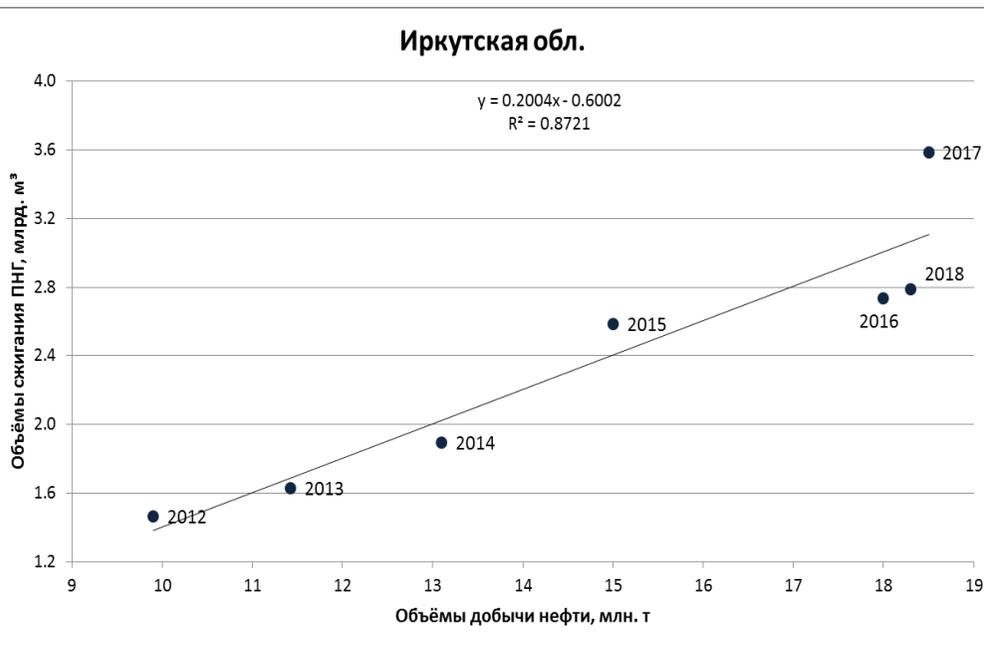
Сравнение оценок аномалий FRP (по MODIS)
vs объёмы добычи газа (a) и нефти (b):

- Гистограмма — данные по добыче;
- Линии трендов — оценки объёмов сжигания.

($R^2 = 0,84$ и $0,82$ соответственно.)

Возможная корреляция оценки сжигания ПНГ и объёмов добычи нефти: примеры

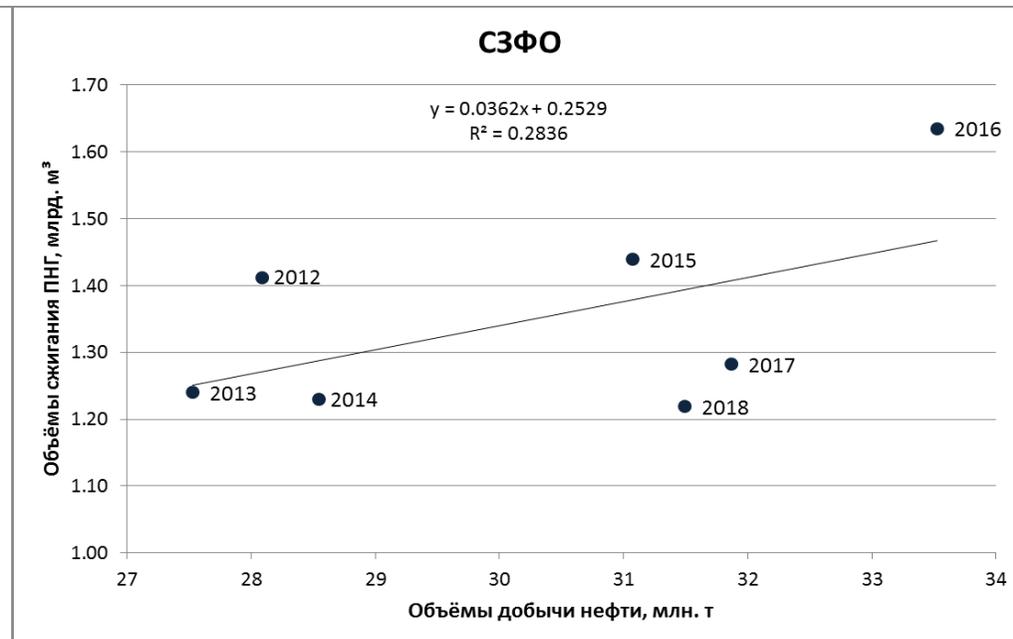
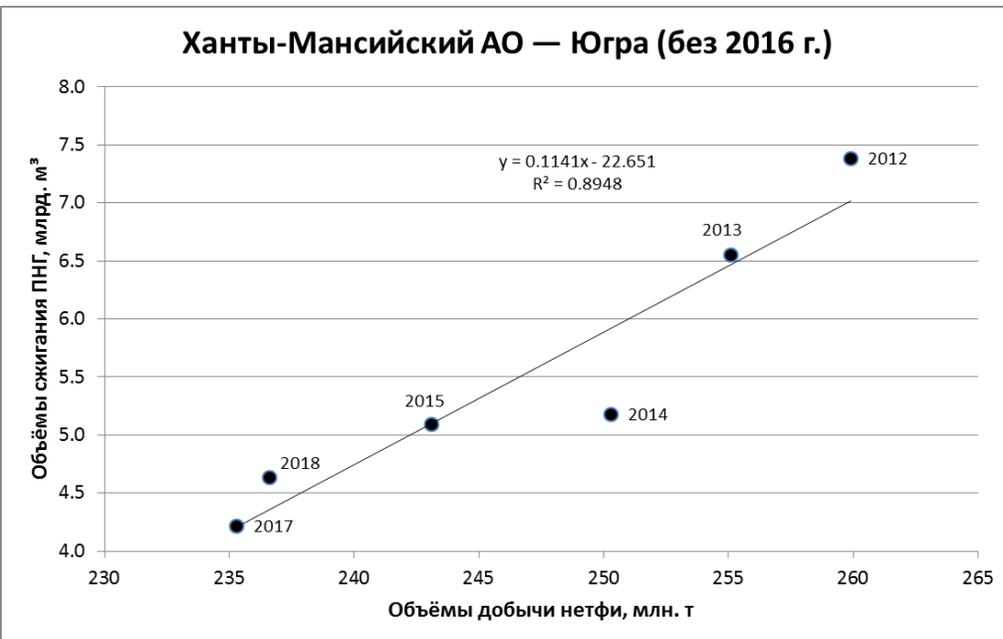
Примеры корреляции оценок VIIRS Nightfire с объёмами добычи нефти



Иркутская область, 2012–2018 гг.
По x — объёмы добычи нефти (РА «Эксперт»),
по y — объёмы сжигания ПНГ (VNF).
 $R^2 = 0,87$.

«НГК «Славнефть»», 2012–2018 гг.
По x — объёмы добычи нефти (отчёты компании),
по y — объёмы сжигания ПНГ (VNF).
 $R^2 = 0,8$.

Возможная корреляция оценки сжигания ПНГ и объёмов добычи нефти: примеры



ХМАО — Югра, 2012–2018 гг. (без 2016 г.)

- По x — объёмы добычи нефти (НАЦ рационального недропользования им. В. И. Шпильмана);
- По y — объёмы сжигания ПНГ (VNF).

$R^2 = 0,89.$

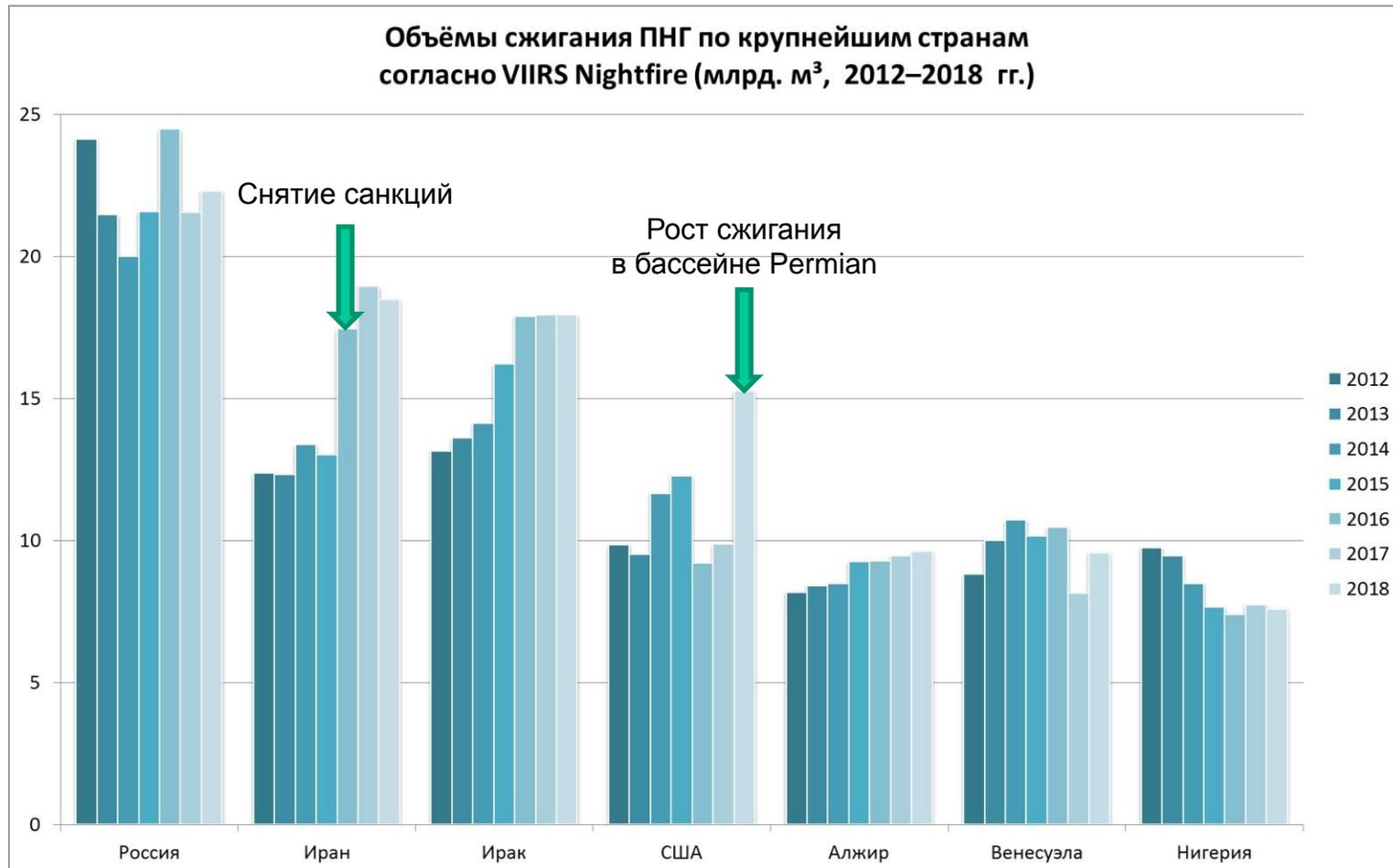
Северо-Западный ФО, 2012–2018 гг.

- По x — объёмы добычи нефти (Росстат);
- По y — объёмы сжигания ПНГ (VNF).

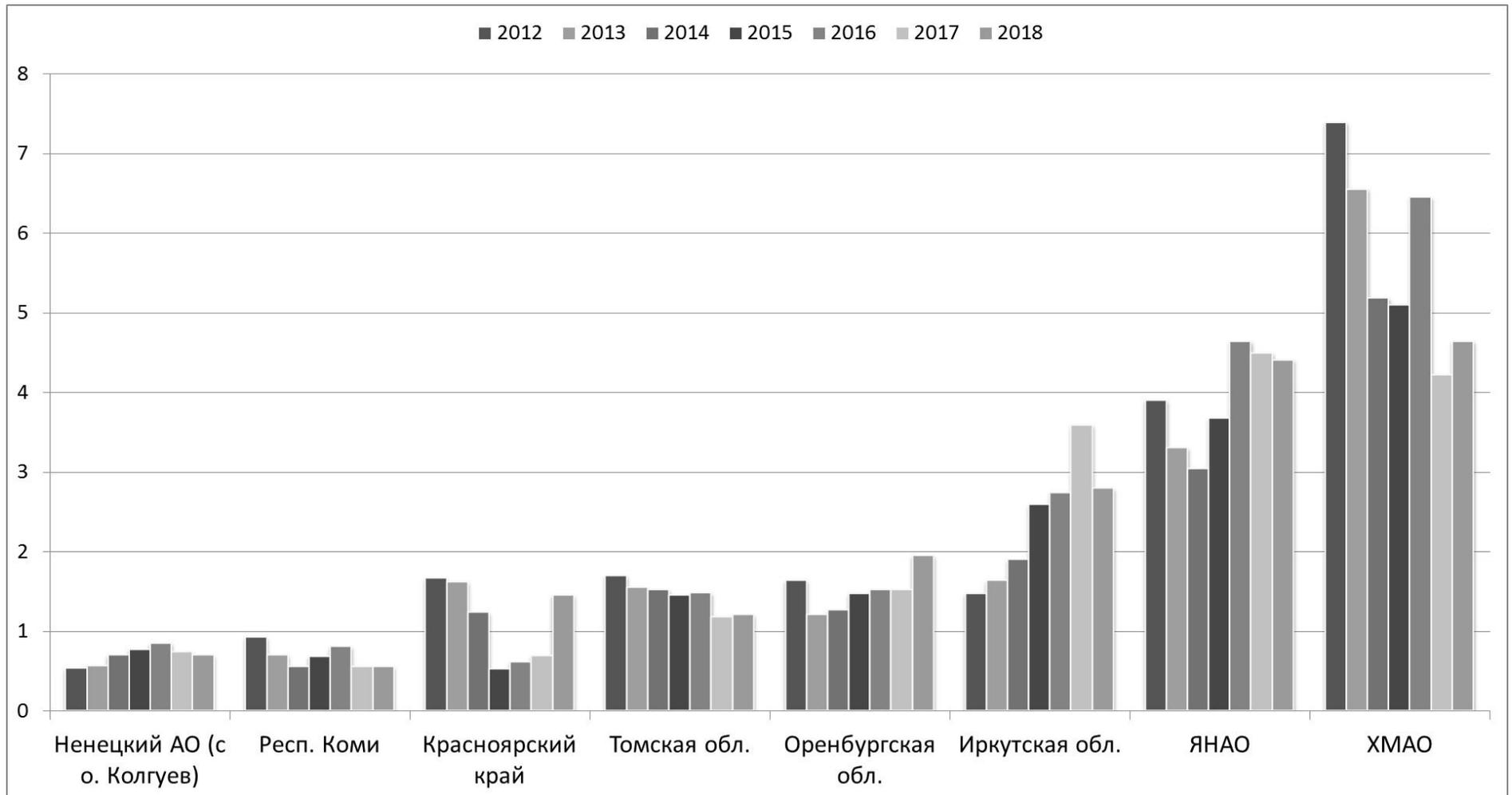
(Рост добычи? разведка? Малые месторождения?)

$R^2 = 0,28.$

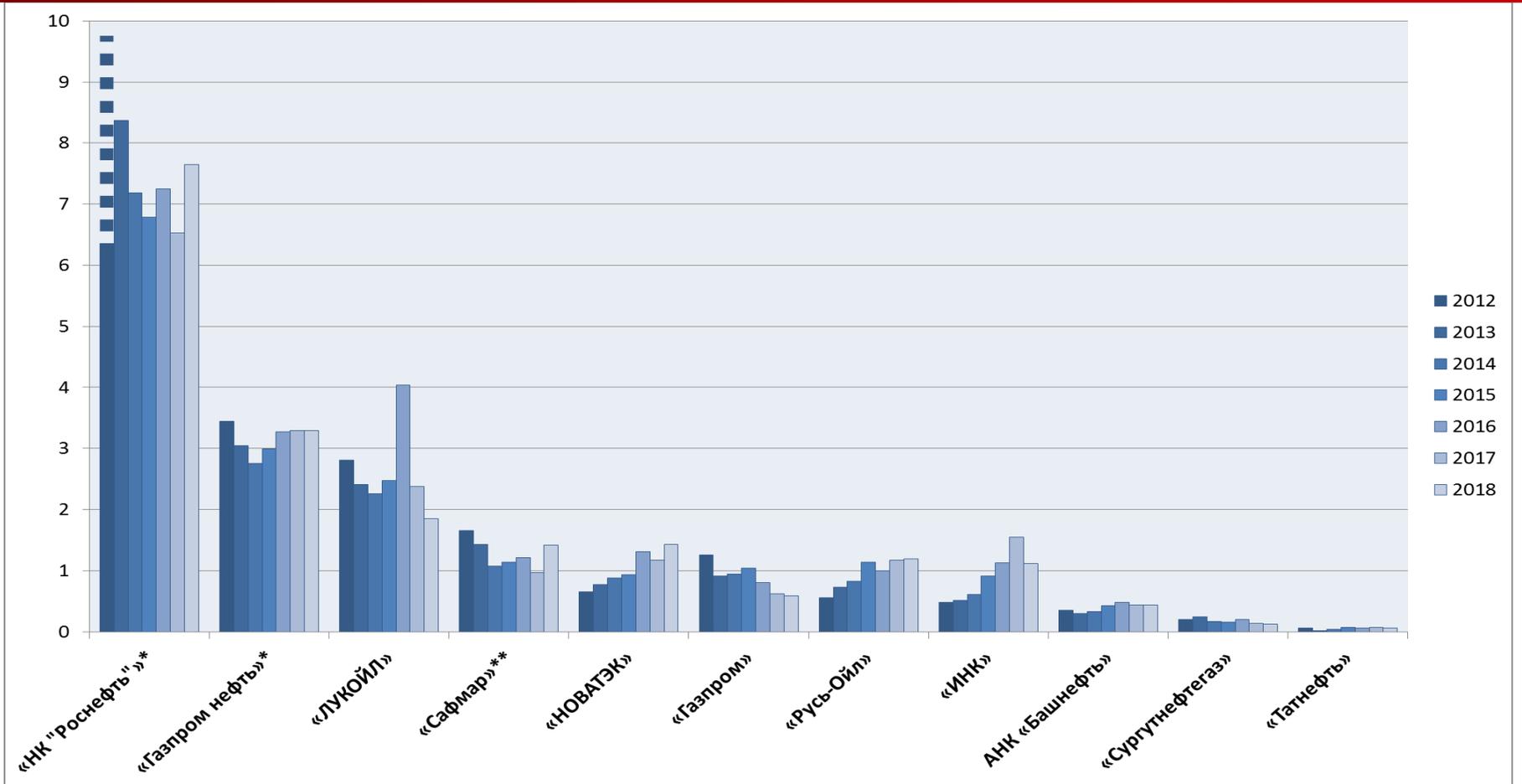
Страны с максимальными уровнями сжигания ПНГ:



Крупнейшие субъекты РФ по суммарному сжиганию ПНГ (в млрд. м³):



Крупнейшие компании по сжиганию ПНГ (в млрд. м³):

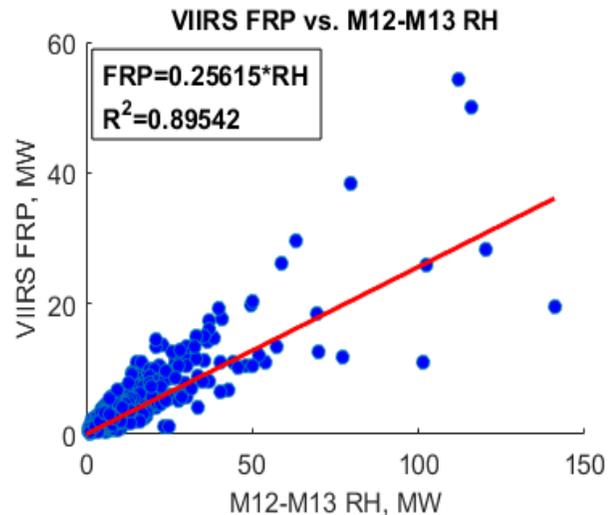


* Данные по «Роснефти» и «Газпром нефти» приведены с учётом совместных предприятий и приобретений;
В случае «Роснефти» в 2012 г. пунктиром представлены объёмы, сожжённые «ТНК-ВР» (приобретена в 2013 г.).

** В составе группы «Сафмар» учтено сжигание по компаниям «Нефтиса», «РуссНефть», «Сладковско-Заречное» и «Фортеинвест».

Методика фиксации тепловых аномалий по разнице СЯ в MWIR (“M12–M13”)

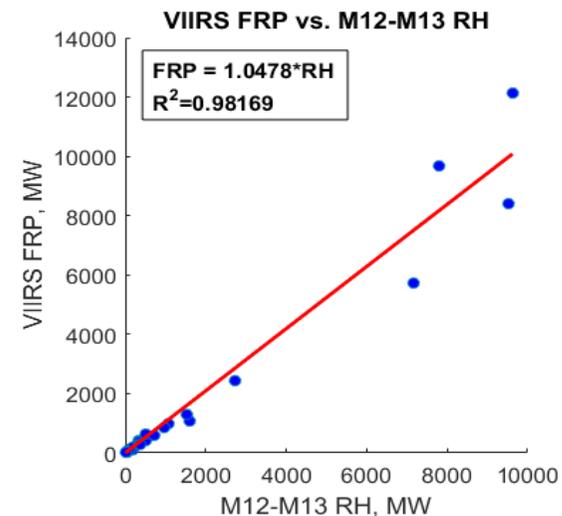
- Методика опирается на разницу излучения в близко расположенных каналах VIIRS M12 и M13.
- Идея методики заключается в сильной скоррелированности значений спектральной яркости (СЯ) этих двух каналов в случае отсутствия в пикселе субпиксельного теплового источника; наличие любой высокотемпературной аномалии вызывает различие фиксируемого излучения в 2-х каналах.



Сравнение мощности излучения
(RH, или FRP)

при фиксации газовых факелов:

- По x — метод M12–M13;
- По y — VIIRS AFP.



Сравнение мощности излучения
(RH, или FRP)

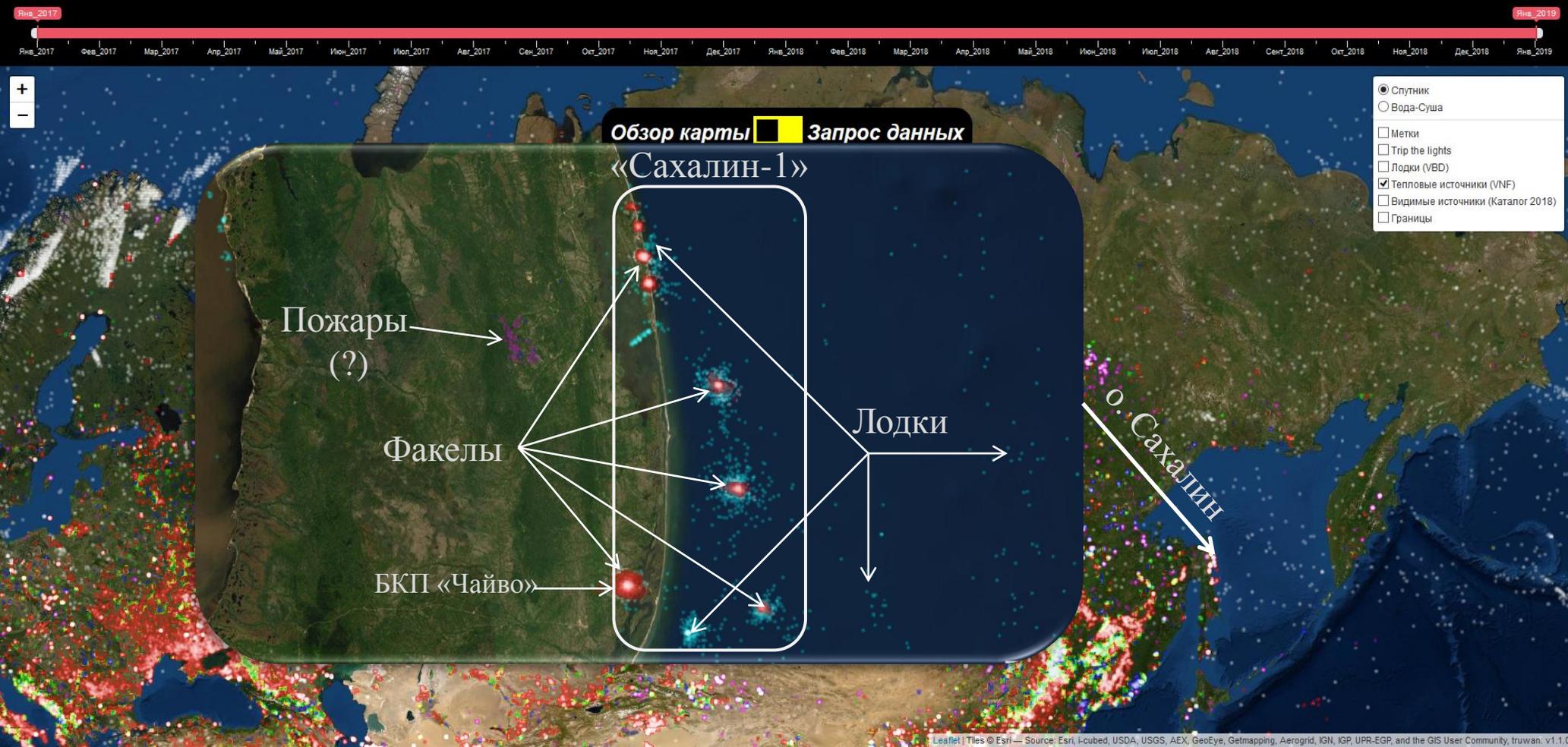
при фиксации пожаров:

- По x — метод M12–M13;
- По y — VIIRS AFP.

Веб-сервис с данными VNF и каталогом газовых факелов России:
<https://nfire.grid.cosmos.ru:5000/RU/>

Ночные огни России

[Справка](#)



Результаты:

- Калибровка энергии излучения, фиксируемой алгоритмом VIIRS Nightfire (VNF), с наземными данными [«расходомера»] по тестовой факельной установке, сжигающей метан, приводит к сильной корреляции ($R^2 = 0,95$) и позволяет оценивать объёмы сжигания с максимальным отклонением в $\pm 25\%$.
- Исследование, проведённое на действующей факельной установке на НПЗ, не выявило сколь-либо заметной корреляции между фиксируемыми параметрами в силу различных возможных причин, рассмотренных в работе. Это исследование, однако, дало ценную информацию относительно состава сжигаемой смеси и наличия других тепловых источников на НПЗ.
- Оценки VNF имеют высокую сходимость с отчётностью Департамента недропользования ХМАО, но:
 - a. В 2016 г. оценки значительно расходятся с данными отчётности;
 - b. Для сильной корреляции к данным отчётности необходимо добавлять константу в ~ 3 млрд. м³ ПНГ.
- Приведены случаи применимости методики для фиксации стадии разработки месторождения, а также её возможности для фиксации аварийных событий.
- Приведены примеры сильной ($R^2 > 0,8$) корреляции оценок сжигания ПНГ и объёмов добычи нефти на примере нефтегазовых регионов и компаний России (ХМАО, Иркутская обл., НГК «Славнефть»). Отмечено, однако, что в других случаях сильной корреляции между параметрами не наблюдается.



Спасибо за внимание

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ (МЕТОДИКА):

- Жижин М.Н., Элвидж К., Пойда А.А. (2017). Мультиспектральное дистанционное зондирование ночной поверхности Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. №3. С. 9–26. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-9-26.
- Elvidge, C. D., Zhizhin, M., Hsu, F.-C., Baugh, K. E. (2013). VIIRS Nightfire: Satellite Pyrometry at Night // Remote Sensing. Vol. 5. Pp. 4423–4449. DOI:10.3390/rs5094423.
- Elvidge, C. D., Zhizhin, M., Baugh, K. E., Hsu, F.-C., Ghosh, T. (2015). Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data // Energies. Vol. 9. Pp. 1–15. DOI:10.3390/en9010014.
- Elvidge C.D., Zhizhin M., Baugh K.E., Hsu F.C., Ghosh T. (2019). Extending Nighttime Combustion Source Detection Limits with Short Wavelength VIIRS Data // Remote Sensing of Environment. Vol. 11 (4). 19 p. DOI: 10.3390/rs11040395.
- Zhizhin M., Elvidge C.D., Kodesh Z. (2019). Ground-truth Validation of VIIRS Nightfire for Gas Flaring Estimates // 2019 NOAA ESRL Global Monitoring Annual Conference. URL: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/publications/annual_meetings/2019/slides/6-Zhizhin.pdf.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ:

- Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа: постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 г. № 1148 (ред. от 28.12.2017).
- Приложение № 2 к приказу Госкомэкологии России от 08.04.98 № 199 «Методика расчёта выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках». СПб, 1997.
- Донской, С. Е. (2015). Повышение эффективности использования попутного нефтяного газа в России. IV Глобальный форум GGFR: Решения по сокращению объемов сжигания попутного газа. Ханты-Мансийск, сентябрь 2015.
- Книжников, А.Ю., Ильин, А.М. (2017). Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России — 2017. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 34 с.
- Нижегородов А.Н. (2017). ПНГ: сжигать невыгодно перерабатывать // Neftegaz.ru. 2017. №10. URL: <https://neftegaz.ru/science/view/1404-PNG-szhigat-nevygodno-pererabatyvat>.
- Руденко В.А. (2014). Диссертация на соискание на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Разработка и исследование системы метрологического обеспечения измерений и учёта попутного нефтяного газа (на примере ОАО «Саратовнефтегаз»)». Москва, 2014.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ:

- Boden T.A., Marland G., and Andres R.J. (2017). National CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751–2014. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2017. DOI: 10.3334/CDIAC/00001_V2017.
- Casadio S., Arino O., Minchella A. (2012). Use of ATSR and SAR measurements for the monitoring and characterisation of night-time gas flaring from off-shore platforms: The North Sea test case // Remote Sensing of Environment. Vol. 123. P. 175 – 186. DOI: 10.1016/j.rse.2012.03.021.
- Caseiro A., Rücker G., Tiemann J., Leimbach D., Lorenz E., Frauenberger O., Kaiser J.W. (2018). Persistent Hot Spot Detection and Characterisation Using SLSTR // Remote Sensing of Environment. Vol. 10, Is. 7. 28 p. DOI: 10.3390/rs10071118.
- Do Q.-T., Shapiro, J.N., Elvidge C.D., Abdel-Jelil M., Ahn D.P., Baugh K., Hansen-Lewis J., Zhizhin M. (2017). How Much Oil is the Islamic State Group Producing? Evidence from Remote Sensing. Policy Research working paper; no. WPS 8231. Washington, D.C.: World Bank Group.
- Faruolo M., Coviello I., Filizzola C., Lacava R., Pergola N., Tramutoli V. (2014). Satellite-based analysis of the Val d'Agri Oil Center (southern Italy) gas flaring emissions // Natural Hazards and Earth System Sciences. Vol. 14. P. 2783 – 2793.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ:

- Fisher D., Wooster M.J. (2018). Shortwave IR Adaption of the Mid-Infrared Radiance Method of Fire Radiative Power (FRP) Retrieval for Assessing Industrial Gas Flaring Output // Remote Sensing of Environment. Vol. 10, No. 2. 23 p. DOI: 10.3390/rs10020305.
- Hodgson R. (2018). Dissertation "Generating a scalable calibration equation that can be applied to VIIRS Nightfire (VNF) radiant heat calculations to estimate gas flaring volumes in Nigeria." Birkbeck University of London, September 2018.
- Weyant C.L., Shepson P.B., Subramanian R., Cambaliza M., Heimbürger A., McCabe D., Baum E., Strim B.H., Bond T.C. (2016). Black carbon emissions from associated natural gas flaring//Environmental Science & Technology. Vol. 50, No. 4. P. 2075 – 2081. DOI: 10.1021/acs.est.5b04712.
- Willyard K.A., Schade G.W. (2019). Flaring in two Texas shale areas: Comparison of bottom-up with top-down volume estimates for 2012 to 2015 // Science of the Total Environment. Vol. 691. P. 243 – 251. DOI: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.46.
- Zhang X., Scheiving B., Shoghli B., Zygarlicke C., Wocken C. (2015). Quantifying Gas Flaring CH4 Consumption Using VIIRS // Remote Sensing of Environment. Vol. 7. P. 9529 – 9541.