

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 551.24+504.5+504.064.37

А. П. ГУСЕВ

ТРОПОСФЕРНЫЙ МЕТАН КАК ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР

*УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь,
andi_gusev@mail.ru*

Общепризнано, что метан (CH_4) играет важную роль в биосфере, однако, источники метана, соотношение природных и антропогенных потоков, взаимоотношение метана с климатической системой в ряд других вопросов не имеют в настоящее время однозначных ответов. Развитие космических методов сделало возможным объективное изучение выбросов метана на региональном и глобальном уровнях [1–5]. Например, на основе анализа комплекса данных (в том числе спутниковых наблюдений) проведена оценка эмиссии CH_4 над территорией Северной Америки, обнаружены колебания, обусловленные добычей и транспортировкой нефти и газа. Съемка *TROPOMI* была использована для оценки выбросов CH_4 в городах США. В ряде случаев показано, что содержания CH_4 , определяемые космическими методами, выше, чем полученные с помощью расчетов и моделирования [4].

Цель исследований – рассмотреть тропосферный метан как индикатор геоэкологических процессов. Метан может использоваться как индикатор: 1) геодинамически активных зон (т.е. опасных геологических процессов); 2) загрязнения атмосферы техногенными выбросами, связанных с утечками при добыче нефти и газа; 3) загрязнения атмосферы выбросами свалок бытовых отходов; 4) лесных, болотных, степных пожаров. В ходе исследований были решены следующие задачи: изучена связь потоков метана с некоторыми геологическими и антропогенными источниками (на основе корреляции между содержанием метана и сейсмической активностью, нефтегазоносностью недр, плотностью населения, численностью поголовья крупного рогатого скота); определены ареалы наиболее выраженных аномалий повышенного содержания метана; изучена пространственно-временная динамика метана над территорией Беларуси, проведен анализ содержания метана над городами и природными геосистемами, рассмотрены потоки метана над геодинамически активными зонами.

В ходе работы были использованы данные съемки спутника *Sentinel-5P TROPOMI*, который определяет содержание CH_4 в вертикальном столбе тропосферы. Данные находятся в свободном доступе на сайте *NASA* и представлены в виде архива (xxx.nc) значений концентрации сухого метана в толще атмосферы в миллиардных долях от объема (ppb).

Для решения первой задачи содержания CH_4 изучались над территориями: а) стран Восточной Европы, Юго-Западной и Средней Азии, в пределах Российской Федерации – субъектов европейской части страны (85 объектов); б) крупных городов – столиц, областных центров (всего 40 городов). В ходе исследований были получены усредненные за летний период содержания CH_4 по регионам Восточной Европы, Юго-Западной Азии и Средней Азии (рисунок 1). Видна четкая дифференциация регионов, существенно отличающихся в тектоническом отношении. Так, Беларусь, Литва и Польша находятся в пределах древней Восточно-Европейской платформы, их территории удалены от зон современной сейсмической активности и вулканизма на сотни км. Страны Юго-Западной Азии представляют область столкновения Африканской, Аравийской, Индостанской и Евразийской литосферных плит.

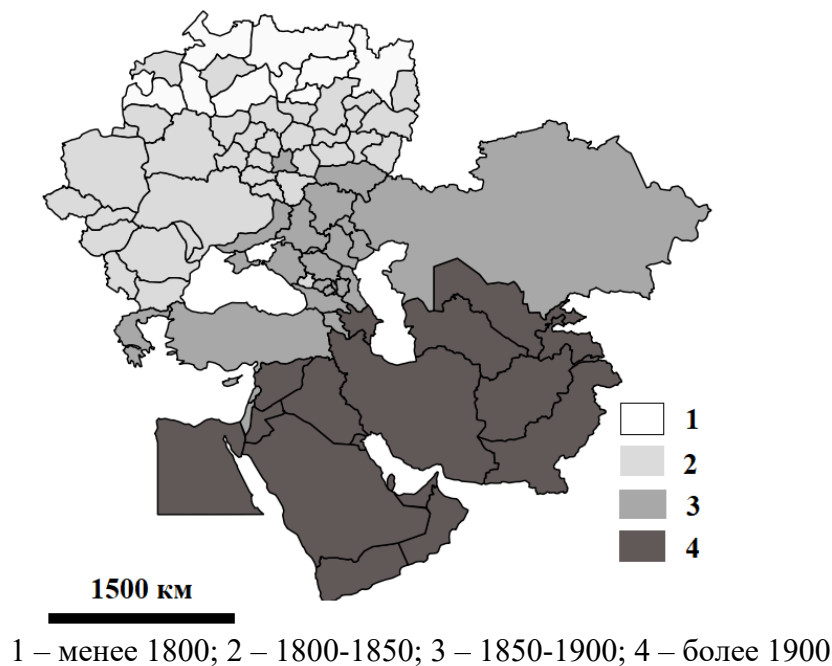


Рисунок 1 – Содержание CH_4 над странами (ppb), составлено автором

Видно, что содержание CH_4 в условиях древней платформы ниже, чем в регионах современного тектогенеза. Кроме того, повышенные концентрации CH_4 наблюдаются над территориями стран-лидеров по добыче нефти и природного газа – Ираном, Ираком, Катаром, Кувейтом, Саудовской Аравией, Туркменистаном. При этом, повышенные концентрации CH_4 наблюдаются над странами, которые характеризуются незначительными площадями болот (Туркменистан, Афганистан и т.д.), являющихся по распространенным оценкам [1] ведущими источниками эмиссии метана. И, наоборот, над регионами с широким распространением болот (Беларусь, Ленинградская, Новгородская, Тверская и т.д. области) концентрации CH_4 относительно невысоки.

Схожая пространственная закономерность характерна для максимальных концентраций CH_4 (2000-2500 ppb) – разовых выбросов из мощных источников. Наиболее частые выбросы метана приурочены к регионам столкновения литосферных плит и нефтегазоносным областям. Самая большая аномалия повышенного содержания метана наблюдалось над восточным побережьем Каспийского моря (полуостров Челекен).

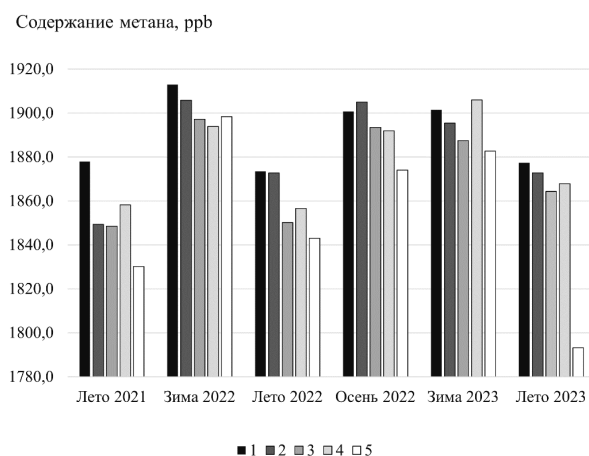
В качестве факторов, влияющих на содержание CH_4 в тропосфере, были рассмотрены: сейсмическая активность (оценивалась по риску максимальной интенсивности сейсмических сотрясений с вероятностью 10 % за 50 лет по шкале *MSK-64* в баллах), запасы природного газа в месторождениях и добыча природного газа, поголовье крупного рогатого скота, плотность населения. Для городов – сейсмическая активность и численность населения. Для оценки влияния указанных факторов на потоки CH_4 проведен корреляционный анализ. Установлено, что содержание CH_4 положительно коррелирует с сейсмической активностью, запасами природного газа в месторождениях, добычей природного газа, в меньшей степени – с численностью поголовья крупного рогатого скота и плотностью населения. Наибольшую величину имеют коэффициенты корреляции между содержанием метана и сейсмической активностью (0,756 – для среднего содержания, 0,786 – для медианного). Величина коэффициентов корреляции между содержанием метана и запасами природного газа чуть меньше (0,745 – для среднего, 0,759 – для медианного содержания). Для выяснения какие из рассматриваемых факторов вносят

большой вклад был использован метод множественной регрессии. В уравнение множественной регрессии достоверно вошли только сейсмическая активность и запасы природного газа в месторождениях. Коэффициент детерминации R^2 составил 0,573.

Исходя из полученных результатов повышенные концентрации CH_4 в тропосфере над рассматриваемыми регионами, вероятно, могут быть обусловлены в значительной степени современной геодинамической активностью и нефтегазоносностью недр (включая эмиссии метана при разработке месторождений углеводородов).

Определены колебания содержания метана над территорией Беларуси. Содержание CH_4 над городами выше фонового, однако, отличия статистически недостоверны. Максимальные разовые концентрации CH_4 имели место над Солигорском (1931,8 ppb), Гомелем (1931,7 ppb), Могилевом (1926,9 ppb). Концентрация CH_4 над ООПТ была в среднем ниже фоновой. Однако, над некоторыми особо охраняемыми природными территориями также наблюдались относительно высокие концентрации – над национальным парком «Беловежская Пуща» (1877,5 ppb), заказником «Смычок» (1864,8), заказником «Выдрица» (1862,4 ppb). Предполагается, что над территорией Беларуси распределение CH_4 имеет сложный характер, обусловленный взаимодействием природных и антропогенных его источников.

На юго-востоке Беларуси мы апробировали дистанционную диагностику геодинамически активных зон на основе космической съемки содержания тропосферного CH_4 . Для этого над геодинамически активными зонами (представлены разломными структурами, над которыми обнаружены геохимические и геофизические аномалии) была изучена динамика содержаний CH_4 , осредненных по следующим временным срезам: лето 2021 г., зима 2022 г., лето 2022 г., осень 2022 г., зима 2023 г., лето 2023 г. Для сравнения использовался региональный фон на соответствующем временном срезе (рисунок 2).



1 – «Костюковка»; 2 – «Урицкое»; 3 – «Цыкуны»; 4 – «Александровка»

Рисунок 2 – Динамика CH_4 над геодинамически активными зонами (составлено автором)

Анализ динамики показывает, что содержание CH_4 над геодинамически активными зонами наиболее существенно отличается от регионального фона в летний период. Статистически значимые отличия от фонового содержания наблюдались летом 2021 г. и летом 2023 г. (для всех участков). Обнаружено, что аномалии CH_4 приурочены к зонам водногелиевых и водородных аномалий, фиксируемых на земной поверхности. По совокупности всех рассмотренных газогеохимических данных наибольшая современная геодинамическая активность проявляется на участке «Костюковка».

На примере тестовых участков видно, что пространственное разрешение съемки *Sentinel-5P TROPOMI* вполне достаточно для выявления аномалий тропосферного метана, связанных с локальными геодинамически активными зонами. Пространственно-временные колебания потока тропосферного CH_4 отражают глубинную флюидодинамику в разломных зонах. Следует также отметить, что данные по тропосферному CH_4 при диагностике геодинамически активных зон необходимо использовать в комплексе с наземные газогеохимическими наблюдениями. Преимуществом метана, измеряемого спутником *Sentinel-5P TROPOMI*, как индикатора геодинамической активности является оперативность получения информации, что особенно важно с точки зрения геоэкологического мониторинга данных процессов.

Список литературы

1. Елисеев, А.В. Глобальный цикл метана: обзор / А.В. Елисеев // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2018. – №1. – С. 52–70.
2. Киселев, А.А. С метаном по жизни / А.А. Киселев, И.Л. Кароль. – Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2019. – 73 с.
3. Семенов, С.М. Роль метана в современном изменении климата / С.М. Семенов, И.Л. Говор, Н.Е. Уварова. – М.: НИИПЭ, 2018. – 106 с.
4. Monster, J. Methodologies for measuring fugitive methane emissions from landfills: A review // J. Monster, P. Kjeldsen, C. Scheutz // *Waste Management*. – 2019. – V. 87. – P. 835–859.
5. Гусев, А.П. Потоки метана в тропосфере: геологические и антропогенные источники (по данным *Sentinel-5P TROPOMI*) // *Региональная геосистемы*. – 2023. – Т.47. – №4. – С. 580–592.

УДК 550.347.6:622.33/.36(476.5)

К. С. МАЛЬКОВ, А. Б. ТОРБЕНКО, А. Н. ГАЛКИН

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ДОБЫЧЕ ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

*УО «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»,
г. Витебск, Республика Беларусь,
malkov.kirill1999@mail.ru*

Витебская область расположена в северной части Республики Беларусь, в геоморфологическом отношении приурочена большей частью к Белорусскому Поозерью, отличающемуся неоднородностью генезиса и состава пород осадочного чехла, широким многообразием форм и типов рельефа, обилием озер, мозаичностью почвенно-растительного покрова. В недрах области сосредоточены значительные ресурсы минерального сырья. Основными среди них являются общераспространенные полезные ископаемые: доломит, кирпичные и гончарные глины, строительные пески и песчано-гравийный материал, торф и сапропель. Регион располагает 100 % республиканских запасов доломита, порядка 70 % запасов сапропеля, 40 % запасов глин, 33 % запасов песчано-гравийного материала, около 30 % запасов торфа и 12 % запасов строительных песков. Добыча доломита осуществляется на участке «Гралево» месторождения «Руба» в Витебском районе. Здесь его запасы