

Роль тепловых методов, в том числе парообработок и пароциклических обработок будет увеличиваться в связи с исчерпанием запасов легкой нефти, (так как эти методы эффективны для добычи тяжелой и вязкой нефти). Роль добычи высоковязкой нефти и битума растет. Суммарные мировые запасы их оцениваются в 810 млрд. т. Это значительно превышает объем остаточных извлекаемых запасов мало- и средневязкой нефти (162,3 млрд. т). Годовая мировая добыча битуминозной и тяжелой нефти по данным на 2000 год составляла более 440 млн. т. Наибольшими запасами такой нефти обладает Канада (522,5 млрд. т), Венесуэла (190 млрд. т), Мексика, Россия (6,236 млрд. т), США, Китай, Кувейт [2].

Таким образом, парообработка и циклическая парообработка пластов являются эффективными МУН для запасов высоковязкой нефти, залегающей на глубине не более 1000 м. Эти методы заняли определенную нишу в нефтедобыче, например, при помощи них добывалась нефть на месторождениях Керн Ривер, Сан Адро, Вайг Вольф (Калифорния, США). Глубина залегания нефтеносных пластов на этих месторождениях составляет 200–600 м. Толщина пласта составляет 25–70 м, а вязкость нефти – более 3000 мПа·с [1].

Список литературы

1. Полные лекции. / [Электронный ресурс] // StudFiles : [сайт]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/3846722/page:38/> – Дата доступа: 09.04.2023.

2. Осипов А.В. Повышение эффективности технологии пароциклических обработок скважин в слоисто-неоднородных пластах с высоковязкой нефтью / Осипов А.В. [Электронный ресурс] // disserCat : [сайт]. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-tekhnologii-parotsiklicheskih-obrabotok-skvazhin-v-sloisto-neodnor?ysclid=lhfcav3wd5766102431/read/read> – Дата доступа: 08.05.2023.

УДК 551.2+550.46

Я. А. ПОЛЯКОВА, А. П. ГУСЕВ

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОТОКОВ МЕТАНА В ТРОПОСФЕРЕ И ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)

УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь,
gusev@gsu.by

На основе съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI изучено содержание метана в тропосфере над территорией юго-востока Беларуси. Исследована пространственная структура и колебания во времени потоков метана. Определены фоновые содержания метана в летний период. Оценены содержания метана в тропосфере на различных тектоническими структурами разного порядка (Припятский прогиб, Воронежская антеклиз, Жлобинская седловина, Брагинско-Лоевская седловина). Установлено, что средние содержания метана в надразломных зонах превышают фон на 9,7, а медианные – на 11,5 ppbV.

Метан – газ, играющий важную роль в биосфере и являющийся одним из парниковых газов, содержания которых определяют климат Земли. Время жизни метана составляет $9,7 \pm 1,1$ года. Парниковый эффект от метана примерно в 25 раз сильнее, чем от углекислого газа. В индустриальную эпоху (с 1750 года) концентрация метана в атмосфере Земли увеличилась с 600–700 до

1800 ppb и более [1]. Естественные потоки метана составляют от 183 до 248 млн т в год с центральной (наиболее вероятной) оценкой 215 млн т/год [1]. Среди природных источников метана доминируют: болота и переувлажненные земли (177-284 млн т/год), пресноводные водоемы (8-73 млн т/год), термиты (2-22 млн т/год). На геологические источники приходится 33-75 млн т/год. Антропогенные потоки метана в атмосферу оцениваются в 357 (336-375) млн т/год [1]. Среди антропогенных источников метана доминируют: крупный рогатый скот (87-94 млн т/год), рисоводство (33-44 млн т/год), мусор (67-90 млн т/год), сжигание биомассы (29-36 млн т/год). Метан выделяется в атмосферу в результате следующих процессов: деятельность микроорганизмов на заболоченных территориях, деятельность микроорганизмов в водоемах (реках, озерах), пожары, пищеварение жвачных животных (бактериальная ферментация в желудочно-кишечном тракте), жизнедеятельность насекомых, анаэробное бактериальное разложение органики на дне морей и океанов, таяние многолетней мерзлоты (метан здесь содержится в виде пузырьков и гидратов, в среднем 2,3 мг/кг породы), выделения из месторождений нефти и газа, выделения из угольных месторождений, холодная и горячая дегазация земных недр. Антропогенные процессы выделения метана: пищеварение домашних жвачных животных, рисоводство (деятельность анаэробных метаногенных бактерий), выделения из мест складирования отходов – свалок (деятельность анаэробных метаногенных бактерий), выделения из сточных вод, выбросы при добыче угля, горение биомассы и топлива, выбросы при добыче, переработке, транспортировке, использовании природного газа, выбросы попутного нефтяного газа [1].

По данным [2] общее содержание метана в атмосфере составляет 5000 млн т., ежегодный поток метана составляет 1000-5000 млн т. Изотопный состав углерода метана атмосферы близок к изотопному составу углерода метана из эндогенных источников. В составе глубинных газов содержание метана изменяется от 0,1 до 98%. Метановая дегазация приурочена преимущественно к рифтовым зонам, а также к зонам разломов, узлам пересечения разломов, районам развития кимберлитовых трубок [2]. Максимальные значения фиксируются в грязевых вулканах Альпийско-гималайского складчатого пояса. В рифтовых зонах содержание метана в газах составляет 20-75%. В.Л. Сывороткин считает, что существующие оценки эндогенного метана занижены (около 200 млн т в год) и оценивает поток метана в 4500 млн т. Повышенная эмиссия метана из рек и озер объясняется, тем что практически все реки и часть озер так или иначе связаны с тектоническими нарушениями, т.е. каналами глубинной дегазации [2].

Цель исследований – выяснить связь потоков метана, измеряемых с помощью спутника Sentinel-5P TROPOMI с тектоническим строением. Задачи: обработка и преобразование данных дистанционного зондирования; определение средних и медианных содержания метана в тропосфере над тектоническими структурами юго-востока Беларуси; выяснение пространственной связи между содержаниями метана и тектоническими структурами.

В работе использованы данные космической съемки спутника Sentinel-5P с сенсоров TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), который определяет атмосферные концентрации (общее содержание в вертикальном столбе тропосферы) озона, метана, формальдегида, угарного газа, диоксида серы, диоксида азота. Измерения ведутся ежедневно с октября 2017 г. Пространственное 7x5,5 км. Данные были преобразованы с помощью модуля Sentinel-5P data explorer для QGIS. Величина случайной ошибки определения метана составляет не более 1%. Продукт содержит значения концентрации сухого метана в толще атмосферы в миллиардных долях от объема ppbV.

Поскольку атмосферные циркуляции на разных высотах рассеивают и перемешивают по горизонтали поток метана, то использовался метод осреднения измерений в заданном временном отрезке, что позволяет сгладить случайные колебания и выделить регулярную составляющую потока метана от земной поверхности. Усреднённое за летний период (июнь-август) содержание метана для региона составило 1839,7, медианное – 1870,5 ppbV. Данные величины были приняты нами как фоновые.

Было изучено содержание тропосферного метана над зонами тектонических разломов (Северо-Припятский краевой разлом, Лоевский разлом, Южно-Припятский разлом, Жлобинский разлом, Оземлинско-Первомайский разлом). Установлено, что над зонами тектонических разломов усреднённое за летний период 2022 года величина содержания метана в столбе тропосферы составило 1849,4, медианное 1882,0 ppbV.

Над восточной частью Северо-Припятского краевого разлома (отделяет Припятский прогиб от Северо-Припятского плеча) среднее содержание метана составило 1857,3, а над западной частью этого же разлома (отделяет прогиб от Белорусской антеклизы) – 1867,1 ppbV. Над Лоевский разломом (отделяет Брагинско-Лоевскую седловину от Припятского прогиба) среднее содержание метана составило 1867,7, а медианное – 1884,2 ppbV. Над Жлобинским разломом (отделяет Жлобинскую седловину от Северо-Припятского плеча) среднее содержание метана составило 1856,1, медианное – 1886,3 ppbV. Над Южно-Припятским разломом (отделяет Украинский щит от Припятского прогиба) – соответственно 1832,9 и 1875,3 ppbV. Таким образом, средние и медианные значения содержания метана в столбе тропосферы в летние период в рассмотренных надразломных зонах, как правило, выше фоновых (исключение – Южно-Припятский разлом). Средние содержания метана в надразломных зонах превышают фон на 9,7, медианные – на 11,5 ppbV. Однако, данные отличия статистически не достоверны ($p > 0,05$).

Потоки метана в тропосфере над тектоническими структурами юго-востока Беларуси характеризуются в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание метана (ppbV) в тропосфере над тектоническими структурами юго-востока Беларуси (июнь-август 2022 года)

Тектоническая структура	Статистика		
	Среднее значение	Медианное значение	Минимальное – максимальное значения
Днепровско-Донецкий прогиб	1843,1	1867,4	1620,4-1918,5
Брагинско-Лоевская седловина	1828,6	1866,8	1541,3-1970,8
Украинский щит	1827,1	1862,7	1598,3-1978,9
Микашевичско-Житковичский выступ	1830,5	1876,3	1541,7-1921,5
Гремячский выступ Воронежской антеклизы	1859,0	1880,7	1640,1-1928,7
Клинцовский грабен Воронежской антеклизы	1834,6	1870,4	1631,7-1934,8
Гомельская перемычка	1836,1	1865,5	1677,2-1922,2
Жлобинская седловина	1850,1	1879,8	1558,7-1932,7
Северо-Припятское плечо	1857,1	1880,1	1553,7-1927,1
Припятский прогиб (северная ступень)	1847,2	1877,9	1525,1-2118,3
Припятский прогиб (центральный грабен)	1835,9	1869,8	1510,4-2015,8

Видно, что над некоторыми структурами содержание метана превышает региональный фон. Наибольшие значения характерны для Гремячского выступа Воронежской антеклизы (среднее – 1859,0, медианное – 1880,7 ppbV), Северо-Припятского плеча (соответственно 1857,1 и 1880,1 ppbV), Жлобинской седловины (соответственно 1850,1 и 1879,8 ppbV). Однако, максимальные разовые концентрации (выше 2000 ppbV) наблюдались только над Припятским прогибом: над северной ступенью (31.07.2022 г.) – 2118,3, над центральным грабеном (14.08.2022 г.) – 2015,8 ppbV. Над Украинским щитом максимальная концентрация тропосферного метана составила 1978,9, над Брагинско-Лоевской седловиной – 1970,8, над Клинецовским грабеном Воронежской антеклизы – 1928,7 ppbV. В качестве гипотезы можно предположить, что различия содержания тропосферного метана над различными тектоническими структурами может быть обусловлено их современной геодинамической активностью.

Наименьшие концентрации метана приурочены к Украинскому щиту (соответственно 1827,1 и 1862,7 ppbV), Брагинско-Лоевской седловине (соответственно 1828,6 и 1866,8 ppbV), Микашевичско-Житковичскому выступу (соответственно 1830,5 и 1876,3 ppbV).

Величина стандартной ошибки среднего изменяется от 1,4 (центральный грабен Припятского прогиба) до 7,8 (Украинский щит) ppbV. Средняя величина для юго-востока составляет 4,4 ppbV. Величина стандартного отклонения колеблется от 57,4 (Гремячский выступ Воронежской антеклизы) до 91,3 (Микашевичско-Житковичский выступ) ppbV. Амплитуда колебаний концентрации тропосферного метана составляет от 245 (Гомельская структурная перемычка) до 593,3 (северная ступень Припятского прогиба) ppbV. В среднем по структурам амплитуда колебаний концентрации – 372,2 ppbV.

Отличия содержания метана между разными тектоническими структурами статистически недостоверны, что, вероятно, обусловлено влиянием биогенных и антропогенных источников метана, которые в данной работе не рассматриваются. Можно предположить, что совокупное влияние разных источников маскирует тектонические эффекты в поле концентраций тропосферного метана.

Таким образом, проведенные исследования показали следующее:

- в надразломных зонах усреднённое за летний период 2022 года величина содержания метана в столбе тропосферы составило 1849,4, медианное 1882,0 ppbV, что превышает фон соответственно на 9,7 и 11,5 ppbV;
- содержания метана в тропосфере превышают региональный фон над таким тектоническими структурами, как Гремячский выступ Воронежской антеклизы, Северо-Припятское плечо, Жлобинская седловина;
- тектонические эффекты в поле концентраций тропосферного метана маскируются влиянием поверхностных биогенных и антропогенных источников метана.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № X23КИ-022).

Список литературы

1. Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты / под ред. В.Г. Бондура, И.И. Мохова, А.А. Макошко. – М.: РАН, 2022. – 388 с.
2. Сывороткин, В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы / В.Л. Сывороткин. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 250 с.