

А. Ю. Новиков^{1,2}*

Экологические последствия загрязнения окружающей среды метаном

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: a.novikov2@g.nsu.ru

Аннотация. Цель исследования – рассмотреть источники выбросов метана и экологические последствия увеличения его концентрации. Метан является важным экономическим ресурсом, однако, его добыча и использование связаны с потенциальными экологическими рисками. В статье рассмотрены такие источники выбросов, как добыча и транспортировка энергоносителей, сжигание, складирование отходов, земледелие и животноводство, а также прочие антропогенные и естественные источники. Удаление метана из атмосферы происходит естественным путем благодаря химическим, физическим и биохимическим процессам. Климатический вред выбросов метана заключается в усилении парникового эффекта, в связи с повышением его концентрации в атмосфере. Экологические последствия связаны с загрязнением почвы и вод, нанесением ущерба здоровью людей, неблагоприятными химическими процессами, а также косвенными источниками вреда, как взрывы и пожары.

Ключевые слова: метан, выбросы загрязнителей, экологические проблемы

A. Y. Novikov^{1,2}*

Ecological consequences of methane pollution

¹ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

* e-mail: a.novikov2@g.nsu.ru

Abstract. The purpose of the study is to consider the sources of methane emissions and the environmental consequences of increasing its concentration. Methane is an important economic resource, but its extraction and use are associated with potential environmental risks. The article considers such sources of emissions as the extraction and transportation of energy carriers, incineration, waste storage, agriculture and animal husbandry, as well as other anthropogenic and natural sources. Removal of methane from the atmosphere occurs naturally through chemical, physical and biochemical processes. The climatic harm of methane emissions is to increase the greenhouse effect due to an increase in its concentration in the atmosphere. Environmental consequences are associated with soil and water pollution, damage to human health, adverse chemical processes, as well as indirect sources of harm, such as explosions and fires.

Keywords: methane, pollutant emissions, environmental issues

Введение

В большинстве современных исследований принято отделять климатические эффекты от экологических. Климатические эффекты проявляются в долгосрочной перспективе и связаны с изменением среднегодовых температур и по-

годных условий. Экологические эффекты могут оказывать влияние как в краткосрочной, так и в более продолжительной перспективе. Они связаны с экологическим ущербом окружающей среде, а также здоровьем населения и разнообразием видов.

С точки зрения рассматриваемых в литературе индикаторов также принято разделять выбросы парниковых газов от выбросов веществ загрязнителей. Состояние окружающей среды и климата скорее является показателем типа «запасы», т.е. среда накапливает определенный уровень загрязнений. При превышении определенных уровней или концентраций проявляется негативный эффект. Тем не менее оценить уровень «запаса» достаточно трудно, поэтому в основном исследования сосредоточены на контроле и снижении величин «потока» – выбросов парниковых газов и загрязнителей.

Несмотря на условное разделение на климатическую и экологическую категорию для многих веществ можно выделить обе составляющие. Так, например, оксиды азота с одной стороны относятся к выбросам наиболее распространенных загрязняющих атмосферу веществ, а с другой являются важным парниковым газом. Аналогично можно рассуждать о выбросах метана (СН₄). При этом и оксид азота, и метан являются ценными ресурсами, используемыми в экономике.

Цель данной работы – рассмотреть источники выбросов метана и экологические последствия увеличения его концентрации.

Источники выбросов и поглощения метана

Среди органических соединений в атмосфере метан является наиболее распространенным [1]. Содержание метана в атмосфере обусловлено не только антропогенными источниками, но и естественными природными процессами. Исследования состава многолетних ледников позволяют оценить историческое содержание метана в атмосфере. Учитывая крайне малую концентрацию метана, его содержание измеряется величиной «ppb», означающей количество молекул данного вещества приходящихся на миллиард молекул в совокупной смеси.

Последние 800 000 лет концентрация метана в атмосфере составляла 350-800 ppb. Минимумы соответствуют моментам наступления ледниковых периодов, а в периоды потепления активизируются естественные источники выбросов метана, и концентрация растет [2]. В современных исследованиях также рассматриваются небольшие ежегодные колебания, связанные с влиянием сезона на естественные источники выбросов и поглощения метана.

Первые современные исследования по определению текущей концентрации метана в атмосфере были проведены в 1947 г. и получили оценку концентрации примерно в 1400 ppb (5200 млн т) [3]. За период 1948-2008 гг. концентрация метана возрастала в среднем со скоростью 6,7 ppb в год, ежегодный прирост составлял 0,4-1% [4]. В 2018 г. концентрация составляла 1860 ppb [5]. Резкий рост концентрации метана в атмосфере за последние 100 лет принято связывать с увеличением выбросов от антропогенных источников при относительно неизменных выбросах и поглощениях от естественных источников. Можно выделить следующие ключевые источники.

Животноводческая деятельность. Микробные процессы, связанные с внутренней ферментацией скота и разложением отходов животноводства, приводят к значительным выбросам метана в атмосферу. Данные процессы характерны и для диких животных, однако развитие скотоводческой деятельности привело к значительному росту численности отдельных видов животных [6].

Добыча и транспортировка угля. При добыче угля высвобождается метан, захваченный угольными пластами и пластами, окружающими месторождение. При этом выбросы шахтного метана могут продолжаться длительный период после завершения добычи [7].

Добыча и транспортировка нефти и газа. При проведении геологоразведочных работ, бурении скважин и добыче нефти выделяется попутный нефтяной газ, содержащий метан. Добыча и хранение природного газа, прокачка по магистральным газопроводам, местное газораспределение также приводит к утечкам, зависящим по объему от используемой технологии [8].

Отходы. Если не проводится вторичная переработка или сжигание, то анаэробное биологическое разложение твердых бытовых отходов, отстоя сточных вод, а также промышленных и сельскохозяйственных отходов может приводить к выбросам метана в течение длительного промежутка времени [9].

Сжигание топлив. Конверсия углерода в метан при горении биомассы подробно рассмотрена в [10]. Выделение метана обусловлено реакциями в результате неполного сгорания биологического материала. Большой объем выбросов характерен для древесины и биотоплив.

Рисовые поля. В отличие от большинства сельскохозяйственных насаждений рисовые поля значительное время покрыты водой, что создает благоприятные условия для развития анаэробных метаногенных бактерий [11].

Болота. Гниение ила и других растительных и животных остатков приводит к выделениям метана, который из-за диффузии и пузырьковой эмиссии просачивается в атмосферу [12].

Прочие не антропогенные источники. В небольших объемах метан может выделяться при биохимической переработке клетчатки у насекомых, например, термитов [13]. Породы вечной мерзлоты в значительных количествах содержат органические остатки и при увеличении температуры возможно образование метана [14]. В озерах, морях и океанах метан может выделяться при переработке фитопланктона анаэробными бактериями, однако интенсивность процессов в разы ниже, чем у болот. Значительные запасы метана также содержатся в метангидратах ($\text{CH}_4 \cdot 5,75 \text{H}_2\text{O}$). Вещество представляет собой твердые соединения метана с водой, похожие на снег. Метангидраты стабильны при низких температурах или высоком давлении, но разлагаются на метан и воду при нормальных условиях.

Антропогенные химические процессы. Данное направление включает широкий спектр химических реакций в промышленности и других отраслях экономики. Например, при повышенных температурах и давлениях может происходить водородная коррозия, что характерно для процессов гидрирования нефти и

угля, синтеза метанола и аммиака. Водородная среда взаимодействует с карбидной составляющей стали, вытягивая углерод и образуя метан.

Удаление метана из атмосферы происходит естественным путем благодаря *химическим, физическим и биохимическим* процессам [15]. *Химический путь* является основным и связан с реакцией метана в тропосфере с высокоактивным радикалом ОН, в результате чего запускаются дальнейшие циклические реакции с выделением молекул воды, озона, формальдегида, углекислого газа и новых радикалов ОН. Подавляющая доля метана выводится из атмосферы именно за счет этого процесса. *Биохимический путь* связан с реакцией окисления метана почвенными организмами, в первую очередь метанотрофами. *Физический путь* заключается в уходе метана в стратосферу.

Таким образом к естественным источникам выделения метана можно отнести процессы жизнедеятельности животных, некоторых растений и микроорганизмов, естественные процессы гниения и заболачивания, природные пожары, самопроизвольное выделение метана из некоторых пород. Основными антропогенными источниками являются животноводческая деятельность и выращивание риса, добыча и транспортировка природных энергоносителей, антропогенные химические процессы, сжигание различных видов топлив, антропогенные пожары и деятельность в сфере отходов.

Экологические и климатические последствия загрязнения среды метаном

В первую очередь выбросы метана связаны с климатической повесткой и парниковым эффектом. Метан не является ключевым парниковым газом, уступая по степени влияния парам воды, CO_2 и N_2O . Тем не менее данный газ считается потенциально более опасным чем CO_2 . Его потенциал глобального потепления не постоянен. В первые годы после выброса вред от него значительно превосходит CO_2 , а затем в течении 100 лет приближается к потенциалу глобального потепления CO_2 .

С другой стороны, можно выделить экологический вред метана. При проведении геологоразведочных работ и бурении скважин выделяется большое количество метана, которое загрязняет воздух, воду и почвы. Воздух, загрязненный метаном, не является токсичным в краткосрочной перспективе. Негативные эффекты в первую очередь связаны с сокращением доли кислорода в составе воздуха, что может вызывать тошноту и головокружение. Однако употребление местными жителями воды, загрязненной метаном и другими веществами, образовавшимися при добыче, может приводить к проблемам со здоровьем. Увеличение концентрации метана в почве разрушает ландшафт и наносит ущерб сельскохозяйственным угодьям [16].

Не только добыча газа связана с экологическим вредом от выбросов метана. В целом с ростом содержания метана от любых источников изменяются химические процессы в атмосфере, что может привести к ухудшению экологической ситуации [15].

Также можно говорить о косвенных источниках вреда. Метан становится взрывоопасен при концентрации 4,4-17%, что в крайних случаях может приводит

к взрывам и пожарам на угольных шахтах и болотах. Метан входит в состав попутных нефтяных газов и зачастую сжигается в факелах, что также приводит к загрязнению окружающей среды.

Заключение

Экологический вред метана в первую очередь связан с повышением его концентрации в почве и водах при добыче нефти и газа, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды и проблемам со здоровьем населения. Тем не менее в первую очередь метан принято рассматривать как парниковый газ, т.к. его влияние оценивается как значительно более пагубное для климата, чем у CO₂.

Нахождение метана в атмосфере – естественное явление, т.к. существуют не антропогенные источники его выбросов. Химические реакции, а также другие физические процессы приводят к его удалению из атмосферы. Тем не менее за последние 100 лет, в том числе из-за увеличения интенсивности человеческой деятельности, произошло увеличение концентрации метана в атмосфере. К основным антропогенным источникам выбросов относятся: добыча нефти, газа и угля, рисоводство и животноводство, складирование отходов и др.

При этом метан входит в состав природного газа и является одним из основных продуктов нефтегазовой отрасли. Добыча нефти и газа продолжает оставаться важным направлением развития экономики России.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках базового проекта НИР лаборатории 1105 ИНГГ СО РАН № FWZZ-2022-0029.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бажин Н. М. Источники и стоки атмосферного метана // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 1993. – Т. 1. – С. 381.
2. Loulergue L. et al. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800,000 years // *Nature*. – 2008. – Т. 453. – №. 7193. – С. 383-386.
3. Migeotte M. V. Methane in the Earth's Atmosphere // *The Astrophysical Journal*. – 1948. – Т. 107. – С. 400.
4. Rigby M. et al. Renewed growth of atmospheric methane // *Geophysical research letters*. – 2008. – Т. 35. – №. 22.
5. Jackson R. B. et al. Methane removal and atmospheric restoration // *Nature Sustainability*. – 2019. – Т. 2. – №. 6. – С. 436-438.
6. Wratt D. S. et al. Estimating regional methane emissions from agriculture using aircraft measurements of concentration profiles // *Atmospheric Environment*. – 2001. – Т. 35. – №. 3. – С. 497-508.
7. Kholod N. et al. Global methane emissions from coal mining to continue growing even with declining coal production // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Т. 256. – С. 120489.
8. Zhang Y. et al. Quantifying methane emissions from the largest oil-producing basin in the United States from space // *Science advances*. – 2020. – Т. 6. – №. 17. – С. eaaz5120.
9. Kumar S. et al. Estimation method for national methane emission from solid waste landfills // *Atmospheric environment*. – 2004. – Т. 38. – №. 21. – С. 3481-3487.
10. Karakurt I., Aydin G., Aydiner K. Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review // *Renewable energy*. – 2012. – Т. 39. – №. 1. – С. 40-48.

11. Wang Z. et al. Estimates of methane emissions from Chinese rice fields using the DNDC model // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2021. – Т. 303. – С. 108368.
12. Bartlett K. B., Harriss R. C. Review and assessment of methane emissions from wetlands // *Chemosphere*. – 1993. – Т. 26. – №. 1-4. – С. 261-320.
13. Rasmussen R. A., Khalil M. A. K. Global production of methane by termites // *Nature*. – 1983. – Т. 301. – №. 5902. – С. 700-702.
14. Ривкина Е. М. и др. Метан в вечномёрзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики // *Криосфера Земли*. – 2006. – Т. 10. – №. 3. – С. 23-41.
15. Бажин Н. М. Метан в окружающей среде // *Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы*. – 2010. – №. 93. – С. 1-56.
16. Арутюнов Т. В., Савенок О. В. Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. – 2015. – №. 9. – С. 39-42.

© А. Ю. Новиков, 2023