

Комментарии к докладу Алексея Викторовича Елисеева:

1. Доклад Елисеева А.В. предоставил нам исчерпывающую, хорошо структурированную и доступно изложенную информацию о глобальном цикле  $\text{CO}_2$ . Показано доиндустриальное стабильное состояние природных источников и стоков, их емкость и интенсивность обмена. Подробно обсуждались вопросы воздействия деятельности человека на всем протяжении активного антропогенного воздействия с начала индустриальной эры. Подробно представлены подходы к моделированию глобального цикла  $\text{CO}_2$  и результаты сравнения моделей.
2. Изучая в последнее время вопросы, связанные с современным изменением глобального содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и соответствующим увеличением средней глобальной температуры, я обнаружила для себя ряд интересных фактов и исследований, показавшихся мне полезными.
3. Говоря о глобальном цикле  $\text{CO}_2$ , мы, конечно, обсуждаем все, известные нам резервуары, источники и стоки, а так же скорость обмена между ними, но, сложно не согласиться, что в первую очередь человечество интересуется содержанием парниковых газов в атмосфере и связанные с этим изменения температуры. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере меняется вследствие их выбросов в атмосферу – естественных и антропогенных – и перехода в иные накопители – океан, наземные системы, целевые «антропогенные» накопители, а также поступления из этих накопителей (резервуаров) – что и приводит нас к рассмотрению глобального геохимического цикла. Если в доиндустриальную эпоху было достигнуто равновесие, то естественные источники уравновешены стоками и не являются фактором современных изменений концентрации  $\text{CO}_2$ .
4. По данным 5-го оценочного доклада МГЭИК «атмосферная концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличивалась в среднем на  $2.0 \pm 0.1$  ppm в год в период 2002-2011. Это десятилетние темпы роста выше, чем во все предыдущие десятилетия с начала прямых измерений концентрации в атмосфере в 1958 году». В последнее время приходит информация о существенном увеличении наблюдаемой концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Психологический порог в 400 ppm был пройден в 2015 году, средняя концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере в 2016 году составила 406 ppm. На сайте NOAA представлены данные скорости ежегодного роста концентрации  $\text{CO}_2$ . По данным NOAA скорость роста содержания  $\text{CO}_2$  за 10 лет с 2000 по 2009 гг. составляла  $1.9 \pm 0.1$  ppm, за последние 10 лет (с 2007 года) –  $2.2 \pm 0.09$  ppm, за последние 5 лет –  $2.6 \pm 0.09$  ppm, а за последние 2 года –  $3.0 \pm 0.09$  ppm.
5. По сценарию RCP8.5, который считается самым пессимистичным, считается, что применяемые человечеством меры для сокращения выбросов парниковых газов должны привести к тому, что этот сценарий не будет реализован. Однако, даже прогнозируемое при реализации сценария RCP8.5 содержание диоксида углерода в атмосфере в 2016 г. должно было составить 404 ppm, что ниже реально наблюдаемого в 2016 г. уровня концентрации 406 ppm. Конечно, с учетом точности прогнозных значений и погрешности измерения и осреднения данных, различие между 404 и 406 ppm незначительное, но это сценарий по системе “business as usual”, не учитывающий никаких мер по сокращению выбросов парниковых газов.
6. После принятия Парижского соглашения, разработаны сценарии глобального экономического развития, которые необходимо реализовать для достижения цели стабилизации потепления к концу XXI века на уровне, не превышающем 2 и  $1.5^\circ\text{C}$  относительно доиндустриального периода. Расчетами, с использованием многочисленных моделей различной сложности, было оценено, что увеличение глобальной температуры

на 2 °C будет достигнуто при росте концентрации CO<sub>2</sub> приблизительно до 550 ppmv (Collins et al., 2013; Zickfeld et al., 2013; Izrael et al., 2013).

7. Большинство сценариев, доступных в литературе, для стабилизации глобальной температуры на уровне 1,5 или 2 градуса к концу столетия, предполагают необходимость использования технологий негативной эмиссии во второй половине столетия. В понятие негативной эмиссии при этом включается существенное и постоянное удаление диоксида углерода из атмосферы. Это может быть достигнуто, например, в результате устойчивого лесовосстановления, увеличения поглощения углерода почвами, использования древесного угля, комбинации использования биотоплива и технологий улавливания и захоронения углерода.
8. Для достижения поставленной цели в зависимости от сценария развития количество уловленного и захороненного углерода к 2100 году должно составить 1000-2000 ГтCO<sub>2</sub>. В терминологии SSP это называется Mitigation strategy – вид и интенсивность, которой изменяется в зависимости от предлагаемого сценария и включает в себя декарбонизацию энергетики и промышленности, восстановление лесов и устойчивое землепользование, применение методов CCS.
9. В соответствии с предлагаемыми путями развития, достижение поставленной цели не выполнимо без внедрения механизмов удаления CO<sub>2</sub> из атмосферы (CDR, CCS), а также без активного развития альтернативных источников энергии (биотопливо, солнечная, ветряная, гидро-энергетика). Этот подход направлен на удаление CO<sub>2</sub> из атмосферы за счет искусственного увеличения интенсивности природных стоков из атмосферы или создания новых стоков, несвойственных природе (NAS, 2015). Начало методов геоинженерии – середина 21 века.
10. Похожие оценки даны в работе Рябошапко, Ревокатовой (2015), анализ практически всех описанных в литературе методы CDR показал, что даже одновременное применение всех методов может обеспечить непревышение допустимого порога роста температуры +2°C лишь к концу XXII века при росте концентрации CO<sub>2</sub> в соответствии со сценарием RCP8.5. Суммарный потенциал удаления и захоронения углерода оценен в работе в 670 Гт Co2 к 2100 году, что может обеспечить снижение концентрации CO<sub>2</sub> на 84 ppm.
11. В связи с этим, встает вопрос о влиянии методов CDR на глобальный цикл CO<sub>2</sub>. В разработанных сценариях этот вопрос никак не освещается, предполагается линейная зависимость суммарной нетто эмиссии в атмосферу и концентрации CO<sub>2</sub>. В моделях глобального цикла не учитываются возможные выбросы от таяния вечной мерзлоты и возможное влияние CDR из атмосферы (т.е. возникновение новых резервуаров поглощения CO<sub>2</sub>, напр., подземное захоронение) и интенсификация процессов удаления углерода из атмосферы (напр., в океан). Вопрос влияния процессов удаления и захоронения углерода на цикл CO<sub>2</sub> недостаточно изучен.