

**Семинар Института глобального климата и экологии (ИГКЭ)  
4 декабря 2013 года**

**SUMMARY**

(составлено к.ф.-м.н. Е.А. Жадановской, ИГКЭ)

Состоялся доклад **д.ф.-м.н. Елисеева Алексея Викторовича** (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН) **«ВЛИЯНИЕ ВНЕЗЕМНЫХ ФАКТОРОВ НА КЛИМАТ: ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ»**. Председательствовал С.М. Семенов. С развернутым комментарием выступил к.ф.-м.н. **Воробьев Владимир Арамович** (Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН).

**Вопросы/ответы**

*Анохин Ю.А., ИГКЭ: Вы представили два механизма, два пути влияния колебаний солнечной активности на климат Земли. Первый, когда рассматривается влияние колебаний суммарного по всему спектру потока излучения. При этом оказывается, что это влияние в сравнении с суммарным влиянием антропогенных факторов незначительно. Второй, когда Вы говорили о влиянии колебаний интенсивности солнечного излучения в ультрафиолетовой области. Такие колебания влияют прежде всего на стратосферный озоновый слой, и получается, что влияние заметное. Вы не пытались, используя модели, сопоставить влияние солнечного излучения в ультрафиолетовом диапазоне на озоновый слой с влиянием на него антропогенных факторов?*

**Елисеев А.В.:** Такие работы проводились. В результатах, о которых писал Е.М. Володин, у них получилось, что первый механизм действительно дает очень слабый эффект. Второй механизм оказывается более значительным, по крайней мере, на региональном уровне.

*Анохин Ю.А., ИГКЭ: Постараюсь уточнить вопрос. Реализация Монреальского протокола сильно уменьшила прямое антропогенное влияние на озоновый слой хлорфторуглеродов-хладагентов за счет радикального уменьшения их использования и, тем самым, сокращения эмиссий в атмосферу. За счет этого толщина озонового слоя должна в теории восстановиться. Скажите, колебания его толщины за счет изменения потока солнечной радиации в ультрафиолетовом диапазоне сравнимы по величине с этими изменениями, т.е. за счет реализации Монреальского протокола. Могут ли результаты моделирования прояснить эту ситуацию?*

**Елисеев А.В.:** В том проекте, о котором я здесь говорил, делались расчеты, в том числе и на будущее, с теми эмиссиями хлор-, фторсодержащих соединений, которые уже уменьшились в соответствии с Монреальским протоколом. Результаты действительно показали, что количество озона в стратосфере увеличивается и озоновая дыра исчезает, если я правильно понял ваш вопрос.

*Семенов С.М., ИГКЭ: Алексей Викторович, совсем просто сформулирую вопрос. В свое время толщина озонового слоя уменьшалась из-за антропогенных эмиссий определенных*

*хлорфторуглеродов. Потом ввели в действие Монреальский протокол, запретив их антропогенные выбросы в атмосферу. Озоновый слой должен был начать восстанавливаться. Такое изменение количества озона в какой-то степени сопоставимо с колебаниями, вызванными колебаниями солнечной активности? Или какой-то фактор больше, а какой-то заметно меньше влияет?*

Елисеев А.В.: Трудно сказать.

Семенов С.М., ИГКЭ: Т.е., это неизвестно. Спасибо!

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: Связь между количеством стратосферного озона и 11-летним солнечным циклом понятна **теоретически**. Но Вы наверняка знакомы с отчетом экспертов ВМО 2006 г. по озону. В нем однозначно сказано, что пока, исходя из данных наблюдений, не обнаружено никакой связи между наблюдаемым озоном (а именно толщиной озонового слоя) и 11-летним солнечным циклом. Это так?

Елисеев А.В.: Для ответа на это вопрос вернусь к одному из слайдов, где показано как озон меняется в 11-летним цикле за 2 солнечных цикла между максимумом и минимумом по спутниковым данным. И здесь видно, что не всегда минимуму и максимуму солнечного потока соответствующие экстремумы содержания озона.

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: А в среднем?

Елисеев А.В.: Я затрудняюсь сказать. В среднем, даже непонятно как вообще менялась трендовая часть, если я правильно понял вопрос. Ведь тренд ультрафиолетовой части спектра известен крайне плохо.

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: Понятно, что рост ультрафиолетовой составляющей солнечного излучения теоретически должен воздействовать на содержание озона в стратосфере. Однако по наблюдениям, мы ничего не видим. Нет никакой связи - так говорят эксперты ВМО. Надо, правда, заметить, что точность наблюдений находится на уровне не лучше 4%. Может быть эффект просто «не виден» в данных, полученных в такой невысокой точностью?

Елисеев А.В.: Возможно. С другой стороны, некий оптимизм внушает, что эмпирические результаты и то, что при учете этого механизма, модельные результаты заметно улучшились.

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: Хорошо, у меня еще один вопрос, связанный с космическим излучением. Вы сказали, что протонная составляющая космического излучения, главным образом, может влиять на облачность системы. А конкретно, с чем протон взаимодействует?

Елисеев А.В.: Происходит соударение с частицей, с аэрозолем, оттуда выбиваются электроны. В результате, аэрозоль становится заряженным.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: У меня вопрос по поводу изменения солнечной постоянной. Вы принимаете, что в течение нескольких столетий она увеличивается. Разве есть основания для такого утверждения?

Елисеев А.В.: Ясно, что минимума Маундера сейчас нет.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Минимум Маундера приходится на период 1645-1715 гг., а я имею в виду тренд. В течение последнего столетия, а также в будущем - будущий тренд откуда берется?

Елисеев А.В.: Будущий тренд естественно - это просто некий сценарий изменений, насколько реалистичный, никто сейчас сказать не может.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Т.е., измерительной базы, как мне представляется, под этим нет?

Елисеев А.В.: На будущее вообще никаких измерений, естественно, нет. Если брать последнее десятилетие, там спутниковые данные есть. Однако существует проблема, связанная с этими данными. Каждый их спутниковых рядов, представленных на слайде, получен от примерно 15 различных спутников. Больше спутник принять не может, у него происходит деградация оборудования. Проблема в том, что на каждом новом спутнике оборудование несколько иное, чем на предыдущем, и возникает проблема взаимной калибровки участков ряда, полученного с разных спутников. На самом деле, все три ряда на слайде (зеленый, темно-синий и красный) построены по одним и тем же спутникам. Просто потому, что других нет. Но они используют разные алгоритмы взаимной калибровки. Это приводит к тому, что у знак тренда оказывается разным.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Подводя итог, можно ли сказать, что нет никаких оснований говорить об увеличении солнечной постоянной?

Елисеев А.В.: За этот период - нет.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Таким образом, нет ни теоретических, ни эмпирических оснований, потому что о Солнце мы еще недостаточно знаем.

Елисеев А.В.: Согласен, недостаточно.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Мой вопрос связан с тем, что некоторые метеорологи, даже преподаватели, начинают писать в учебниках о том, что солнечная постоянная растет.

Елисеев А.В.: Если специальным образом выбрать ряд, то она будет расти.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Второй вопрос по поводу 11-летнего цикла. Если взять все эффекты изменения солнечной активности: просто чисто тепловой эффект изменения суммарного потока солнечного излучения, взять изменение ультрафиолетового излучения и изменение облачности, связанное с этими явлениями, - то все-таки нельзя ли назвать суммарный эффект на климат? Каким будет влияние суммарного эффекта на температуру? Если уменьшается солнечная активность, т.е., пятен становится меньше, должно ли это приводить к похолоданию?

Елисеев А.В.: Да. Суммарный эффект есть, но дело в том, что его значимость неочевидна.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Правильно я понял, что изменение не очень большое, и эмпирически подтвердить это очень трудно?

Елисеев А.В.: Результат статистически значим, однако это без учета ошибки измерения температуры и солнечной активности.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Из литературы по 11-летнему циклу непонятно, то ли подтверждается, то ли нет простая прямая связь: увеличение активности Солнца сопровождается повышением температуры, а уменьшение – понижением. Правомерно ли такое объяснение?

Елисеев А.В.: В целом, если приток энергии увеличивается, то климат, так или иначе, должен теплеть. Другое дело, что насколько это потепление будет значительно? Ответ на данный вопрос является сложным.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Еще один вопрос по поводу минимума Маундера. Все-таки это период, характеризующийся значительной продолжительностью – около 70 лет. По одним данным, похолодание начинается гораздо раньше, чем начался минимум Маундера, т.е. раньше 1645 г. По другим данным, говорят, что как раз малый ледниковый период был связан с минимумом Маундера. Вы смотрели литературу по этому поводу? Можете прокомментировать? Есть ли какие-то данные?

Елисеев А.В.: Этот вопрос изучался, нами проводились расчеты, которые я не стал включать в доклад. Несколько лет назад относительно этого вопроса была достаточно ясная картина, состоящая в том, что изменение солнечной активности вкупе с вулканами достаточно хорошо дало возможность по моделям объяснить те реконструкции, которые тогда существовали. Это было примерно в середине нулевых годов. С этого периода произошло два важных события: первое - пересмотрели, насколько изменилась солнечная постоянная за этот период и пришли к выводу, что изменение гораздо меньше, чем оно считалось до этого, примерно в 2 раза; второе - возникли другие альтернативные реконструкции, которые настолько сильно отличаются и от первоначальной реконструкции и между собой, что в результате достаточно тяжело сказать, как же менялась температура, если учитывать их все. В последнем докладе ИРСС вместо того, чтобы рисовать все это множество реконструкций, нарисовали степень их перекрытия.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Вы сейчас говорите о реконструкции температуры?

Елисеев А.В.: Да. Из степени перекрытия следует, что был некий небольшой минимум в период, который традиционно соотносится с малым ледниковым периодом, был, но начало малого ледникового периода приписать к какому-нибудь десятилетию невозможно вообще, да и к столетию, как выясняется, достаточно проблематично. Относительно средневекового оптимума так же сложно определить его однозначные временные рамки.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Спасибо за исчерпывающий ответ.

Кривоуцкий А.А., ЦАО Росгидромета: И все-таки, можете сказать, был ледниковый период или нет?

Елисеев А.В.: Вроде бы по большинству реконструкций был. Правда, он же подтверждается и косвенными данными, например, ледниками в Альпах и другими источниками косвенных данных. Вопрос не в том, был ли он или не был, а в том,

собственно говоря, какой период он по времени охватывал, а также насколько он был значим для глобальной температуры. Здесь пока нет четкого ответа.

*Сизенцев Г.А., РКК «Энергия»: Вы ходите сказать, что величина изменения глобальной температуры неизвестна, т.е. по отношению к сегодняшней?*

Елисеев А.В.: Известна, но с очень плохой точностью. Порядка половины градуса. Однако диапазон неопределенности больше, чем эти полградуса, т.е. сам он перекрывается нулем.

*Горшанина М., РУДН: Давайте вернемся к слайду, где показана корреляция вулканизма и изменений инсоляции. Вы сказали, что второй моделируемый ряд дает 100% нереалистичный прогноз. Почему Вы так считаете?*

Елисеев А.В.: Потому что предсказывать вулканические извержения не умеет никто. Здесь задача – построить некий сценарий, для того чтобы попытаться получить некую вилку того, сколько это может быть лет. Например, поверить, что каждые 7 лет будет извержения вулкана Пинатубо, невозможно, потому что в первые почти полтора десятилетия XXI века такого не случалось. Это означает, что, по крайней мере, в этот период данный сценарий является нереалистичным. Если брать старый сценарий вулканизма, то там, конечно, таких извержений каждые 7 лет также не было.

*Семенов С.М., ИГКЭ: Вы сказали, что альbedo земной поверхности 30%. В балансе энергии IPCC написано, что до Земли доходит  $198 \text{ Вт/м}^2$  солнечной энергии, а отражается лишь  $30 \text{ Вт/м}^2$ . Если посмотреть, то это не 30%, это ближе к 15%. Это противоречие переходит из тома в том. С одной стороны, пишут о 30%, с другой, когда пишут энергетический глобальный баланс, там соотношение другое.*

Елисеев А.В.: Это немножко другое. Планетарное альbedo – это то, что происходит только на некой условной верхней границе атмосферы.

*Семенов С.М., ИГКЭ: Вы сейчас говорите о каком альbedo? Земной поверхности или об атмосфере плюс земная поверхность?*

Елисеев А.В.: О планетарном.

*Семенов С.М., ИГКЭ: Тогда снимаю вопрос. Вернитесь, пожалуйста, к слайду, на котором представлена работа Мохова 2012 г. О какой температуре здесь идет речь?*

Елисеев А.В.: Дельту перед  $T$  надо убрать, и конечно, здесь температура измеряется в градусах Цельсия, а не в кельвинах.

*Семенов С.М., ИГКЭ: Т.е., это просто средняя глобальная температура, и все. Спасибо. Еще вопрос: правильно ли я понимаю, что у Вас при всех этих сценариях до 2300 г. есть что-то вроде насыщения или даже снижение температуры и нет сценариев, при которых температура растет до 2300 г. ?*

Елисеев А.В.: Это на самом деле зависит от того, какие сценарии задаются.

*Семенов С.М., ИГКЭ: Вы задали сценарий как стандартные RCPs, а модель свою взяли, т.е считали по-своему. Если считать при помощи этих RCPs и других моделей, температура может вести себя по-другому.*

Елисеев А.В.: Действительно, это так. Это связано с тем, что у нас в модели океан недостаточно инерционен. У нас возмущение проявляется чуть позже, чем в других моделях. В наших моделях слишком рано происходит насыщение относительно других моделей. Такой факт имеет место.

Семенов С.М., ИГКЭ: Последний вопрос: есть 11-летний цикл солнечной активности. Это все знают. Если, отслеживая по циклу солнечной активности от максимума к минимуму, посмотреть только на коротковолновую часть спектра (длина волны меньше 200 нм), т.е. посмотреть на поток энергии, приходящий в полосе от 0 до 200 нм, то будет ли он повторять 11-летний цикл?

Елисеев А.В.: Да.

Семенов С.М., ИГКЭ: Т.е., форма цикла будет такая же? И сейчас при этом ненормальном цикле форма такая же?

Елисеев А.В.: Да.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: У меня тоже возник вопрос к этой картинке. Один из сценариев показывает повышение температуры после 2080 г., потом выхолаживание после 2100 г. Я не специалист в моделировании и представляю себе, что растопились ледники, и дальнейшее увеличение  $\text{CO}_2$  практически незаметно будет влиять на температуру. Может быть в этом причина выхолаживания? С чем связано?

Елисеев А.В.: Это связано с тем, что сценарии RCP просто заданы в стандартном протоколе. Как часть ответа на ваш вопрос, я сразу хочу уточнить, что распределение ледников у нас в модели предписано.

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Т.е. они не меняются?

Елисеев А.В.: Не меняются. В сценарии, выделенном красным, примерно в середине XXI века антропогенная деятельность не то, чтобы заканчивается, но антропогенная эмиссия парниковых газов становится отрицательной. Считается, что люди начинают их как бы улавливать. Для полноты представления, я хотел бы прокомментировать то, как сценарии были построены, поскольку это не мной было сделано. Сразу оговорюсь, что к этому надо относится не как к прогнозу, а как к тому, чтобы модели дали согласованный хотя бы в смысле входа ответ на вопрос: а что будет если? Так вот, в рассматриваемом сценарии считается, что потребление топлива будет снижено, прежде всего за счет использования биотоплива, будет использована биоинженерная стратегия, позволяющая улавливать  $\text{CO}_2$ .

Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Имеется в виду отрицательная эмиссия?

Елисеев А.В.: Да. При этом в нашей модели через несколько десятилетий начинает снижаться уровень  $\text{CO}_2$ , еще через несколько десятилетий начинает холодать. В сценариях, подсвеченных синим и зеленым, все эмиссии прекращаются в районе 2100 г. В модели еще несколько десятилетий стабилизируется  $\text{CO}_2$ , и еще через несколько лет модель выходит на некий новый стационар. В последнем сценарии эмиссии продолжаются примерно до первых нескольких десятилетий начала XXIII века и тоже через несколько десятилетий модель уходит на стационар.

Семенов С.М., ИГКЭ: Спасибо большое за объяснение. RCPs - действительно стандартные сценарии, с которым работают на 5 цикле оценки IPCC. Почему так меняется глобальная температура? Такие кривые получаются? Потому что под ними лежат специальные кривые концентраций парниковых газов, а эти кривые придумали из того, что есть разные способы будущего развития мирового хозяйства. В частности, RCP 2.6 - это сценарии с такой затеей, как откачивать CO<sub>2</sub> из атмосферы разными технологическими способами.

Елисеев А.В.: С другой стороны, такой сценарий тоже полезно посмотреть. В прошлом IPCC был сценарий, фиксирующий CO<sub>2</sub> в 2000 г.

Семенов С.М., ИГКЭ: Т.е. концентрация фиксируется.

Елисеев А.В.: Возвращаясь к вопросу о реалистичности, в этом сценарии надо было сжечь топлива больше, чем сейчас разведанные запасы.

Семенов С.М., ИГКЭ: А какие сейчас разведанные запасы?

Елисеев А.В.: Порядка 5 гигатонн углерода.

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: Что растет быстрее: разведанные запасы или использование?

Елисеев А.В.: Использование, по-моему.

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: Разведанные запасы растут быстрее.

Елисеев А.В.: Я не специалист, я затрудняюсь с ответом на этот вопрос.

Рябошапко А.Г., ИГКЭ: Тогда последняя теория наиболее реалистичная.

Елисеев А.В.: Трудно говорить о реалистичности тех или иных социо-экономических сценариев, просто потому, что они помимо разведанных запасов, еще много что в себя включают: вплоть до того, какие войны в мире будут, а каких не будет.

**С.М. Семенов, председательствующий:** Спасибо большое! Я думаю, что мы с вопросами завершили. Переходим к выступлению В.А. Воробьева с комментариями.

## **С РАЗВЕРНУТЫМ КОММЕНТАРИЕМ ВЫСТУПИЛ к.ф.-м.н. ВОРОБЬЕВ**

**Владимир Арамович** (Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН) - **текст прилагается.**

## **Общая дискуссия**

Криволуцкий А.А., ЦАО Росгидромета: Надо поблагодарить автора доклада, который показал как именно относительно слабые факторы могут приводить к серьезным проблемам. Чтобы показать и рассказать это, надо очень детально представлять себе физику этих атмосферных процессов, все слабые места, которые в этой части физики атмосферы существуют и которые сразу выплывают на поверхность при попытке анализа рассматриваемых явлений.

Недавно я участвовал в заседаниях по поводу организации нового международного проекта **SolarMIP** (Solar Models Intercomparison Project). Организаторы привлекли около 40 групп, располагающих климатическими моделями. Был задан единый сценарий воздействия – 11-летняя цикличность в солнечной постоянной. Результаты для организаторов проекта являются базой, в какой-то мере эмпирической, по солнечному циклу. На совещании приводились результаты для отклика приземной температуры. Было показано, что отклик может запаздывать в разных моделях. После того, как солнечное воздействие произошло, начинается эволюция.

Хочу сказать, что в мире к этой проблеме, как правильно сказал докладчик, относятся очень серьезно. Она уже лет 100 перед исследователями стоит. Проблема потепления климата существует. База данных существенно увеличилась, теперь включает и результаты спутниковых наблюдений (объем которых значительно расширился). На данный момент почва для анализа совершенно другая, модели совершенно другого уровня, поэтому у этого направления было прошлое, но есть и будущее. Еще раз спасибо.

*Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова:* Хотел бы еще раз сказать по поводу изменения солнечной постоянной. Надо четко говорить, как мы с вами выяснили в дискуссии, что доказательства существования долговременных трендов нет. А как я сказал, некоторые профессора уже пишут учебники и там говорят об изменении солнечной постоянной, ее увеличении. Отсюда сразу следует вывод о грядущем потеплении.

Еще несколько слов по поводу магнитного поля, а именно о влиянии магнитного поля на климат. Очень многие об этом говорят. Кстати, эта точка зрения группы Распопова. И вот Вы сейчас сказали, что тоже было для меня было крайне интересно: результаты модели, которую они сделали, не подтвердились (Елисеев А.В.: это не его результаты, это механизм, предложенный Г.А. Жеребцовым).

Говорят, что очень сильно влияло магнитное поле. Но вы знаете, что есть данные о вариациях магнитного поля с периодичностями приблизительно от сотен до нескольких тысяч лет. Так вот, они никак не коррелируют с изменениями климата.

Есть данные о магнитных инверсиях. Последняя большая инверсия была 780 тысяч лет назад. Были экскурсы магнитного поля, правда, нет согласия в их числе, но тем не менее. Они также не сопровождались соответствующими изменениями климата. Считается, что инверсия, когда понижалась абсолютная величина магнитного поля, проходила в течение нескольких тысяч лет, однако и тут климатических изменений тоже никаких не было. Таким образом, эти вещи очень скользкие. Когда об этом говорят, то полезно обращаться к палеоданным.

Если позволите, еще один комментарий, по поводу этой модели, о которой рассказывал В.А. Воробьев. Знаете, у нас на факультете есть профессор, который писал о движении барицентра Солнечной системы относительно Земли и Солнца и влиянии этого движения на климат. Но барицентр не мог двигаться – это центр масс солнечной системы, вот человек не знает об этом, а пишет о том, как движение этого барицентра влияет на климат. Здесь у Вас очень много непроверенных данных, в частности, там, где Вы приводили рисунок, на котором изменяется число солнечных пятен. И ряд продолжается на тысячу лет назад. Откуда взялись эти данные? Ведь считать их систематически начали после Людовика XIV. Таким образом, к этому надо относиться осторожно.

*Семенов С.М., ИГКЭ:* По-моему, самый длинный ряд солнечных пятен – примерно с 1610 г. Сейчас систематические наблюдения проводятся Бельгийской Королевской Обсерваторией.

Елисеев А.В.: Мне кажется, что их еще Галилей наблюдал в начале XVII в.



Большаков В.А., Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова: Т.е., когда изобрели телескоп.

Семенов С.М., ИГКЭ: Есть еще желающие выступить? Давайте тогда завершать. Подведем итог. Говорилось о трех вещах.

Первое – непосредственное влияние изменения потока солнечного излучения в 11-летнем цикле на земной климат. Было довольно детально все рассмотрено и показано, что влияние небольшое. Это давно известно, что небольшое.

Второе - Хенрик Свенсмарк и Игил Фриис-Кристиансен предложили в 1997 г. идею о том, что изменение потока космического излучения приводит к тому, что количество ядер конденсации меняются в атмосфере, а из-за этого облачности становится больше или меньше (в зависимости от знака аномалии потока излучения). Соответственно если облаков больше, то становится холоднее, поскольку есть затемнение; если меньше, то – теплее, поскольку затемнения нет. Вы продемонстрировали, что современное продолжение этого ряда показывает отсутствие прямой связи. Может быть, при более глубоких исследованиях, такая связь вновь обнаружится.

Третье - с Вашей точки зрения, изменение солнечного излучения в коротковолновом диапазоне примерно от 0 до 200 нанометров влияет на количество стратосферного озона, а это, в свою очередь, влияет на многое, поскольку, во-первых, влияет на климат стратосферы, во-вторых, озон является парниковым газом, а значит, влияет в какой-то степени на климат нижележащих слоев атмосферы. Насколько я понимаю, эта связь реальна, ее включают даже теперь в математические климатические модели. Насколько сильные поправки это дает к существующим оценкам изменения климата? Я так понял, что не очень сильные, но заметные, которыми не стоит пренебрегать, но все-таки не решающие.

Елисеев А.В.: Они заметные в 11-летнем цикле. В тренде таких расчетов еще нет, и это очень дорого вычислительно.

Семенов С.М., ИГКЭ: Если посмотреть наложение антропогенного изменения, т.е., потепления за счет повышения концентрации парниковых газов и вот этого эффекта, то возможно там будет какое-то модулирование монотонного роста за счет озона, может быть даже большое. Но вряд ли эти эффекты будут сравнимы с антропогенным потеплением. Однако поскольку мы не знаем, что получится, этот вопрос пока остается открытым.

Мне кажется, что то, что Вы сообщили очень важно. Очень правильный анализ и обобщение существующих исследований сделаны. Об этом пишут сейчас очень много, очень темпераментно, но именно в настоящем докладе было изложено реальное положение дел.

Я хотел бы уточнить два частных момента. Вы считаете, что коэффициент пропорциональности между  $\Delta T$  и радиационным форсингом (т.е. РВВ-радиационным возмущающим воздействием) есть 0.5 более-менее для всех моделей?

Елисеев А.В.: Нет, 0.5 – это по наименее чувствительным моделям, а по наиболее чувствительным, это чуть больше 1.

Семенов С.М., ИГКЭ: Это модели какого периода времени? В Третьем оценочном докладе МГЭИК написано 0.5, а в четвертом уже больше считали?

Елисеев А.В.: 0.5 и 1.2 – это я взял из четвертого доклада.

Семенов С.М., ИГКЭ: А что говорит 5-й доклад? Мне кажется, что они вернулись к старой оценке, все-таки 0.5. Посмотрите, это довольно интересно.

Второй момент: мне показалась интересной Ваша картинка относительно региональных проявлений изменения глобального климата. Вот у Вас получилось, что Арктика не целиком является чувствительным регионом, чувствительными оказались север США и Канада. Т.е., в тех моделях, которые Вы рассматриваете, Арктика не является totally чувствительной в большей степени, чем остальные регионы мира.

Елисеев А.В.: Мне кажется, что это даже интуитивно понятно, потому что на суше нет льда, а в Арктике лед. Лед - более инерционный, чем снежный покров.

Семенов С.М., ИГКЭ: Да, инерция больше в Арктике. Тем не менее, модели, которые использовались в цикле 5-го оценочного доклада дружно рисуют всю Арктику чувствительной. Я не поддерживаю эту точку зрения и считаю, что Вы правы, и не вся Арктика чувствительна. Кстати, в оценке Георгия Вадимовича Грузы тоже получалось, что совсем не вся Арктика чувствительна. По данным гидрометеорологических наблюдений совершенно не наблюдается никакой выдающейся чувствительности Арктики. В среднем в вековом масштабе времени чувствительность Арктики даже меньше, чем центра Сибири. Вопрос об исключительной чувствительности Арктики требует дальнейшего рассмотрения.

**С.М. Семенов, председательствующий**: Поблагодарим еще раз докладчика Алексея Викторовича Елисеева. Мы послушали очень интересный, очень полезный, а главное, содержательный доклад. Спасибо Владимиру Арамовичу Воробьеву за подробный и интересный комментарий.