Семинар Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ИГКЭ)

5 сентября 2019 года

SUMMARY

(составил А.А. Трунов, ИГКЭ)

Состоялся доклад к.ф.-м.н. **МАКАРЬЕВОЙ Анастасии Михайловны** (Отделение теоретической физики, Петербургский институт ядерной физики) **«Биотический насос атмосферной влаги и конденсационная динамика атмосферы»**. С развернутым комментарием выступила **к.г.н. ПОПОВА Валерия Васильевна (Институт географии РАН)**. Председательствовал **д.ф.-м.н. СЕМЕНОВ Сергей Михайлович (ИГКЭ)**.

Семенов С.М. (председательствующий): Добрый день, уважаемые коллеги. У нас сегодня первое после лета заседание, и будет несколько необычный доклад. Анастасия Михайловна Макарьева из Отделения теоретической физики Петербургского института ядерной физики расскажет нам про «Биотический насос атмосферной влаги и конденсационную динамику атмосферы». Я попросил Анастасию Михайловну больше налегать на биотический насос и меньше на динамику атмосферы. Поскольку у нас более прикладного, экологического направления институт, то лучше нам послушать про лесную тематику. Пожалуйста, докладывайте в пределах 1 часа.

РАСШИРЕННЫЕ ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА А.М. МАКАРЬЕВОЙ И ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРИЛАГАЮТСЯ.

Семенов С.М. (председательствующий): Спасибо, Анастасия Михайловна. Какие будут вопросы, коллеги?

О.Н. Липка (ИГКЭ): *Я правильно поняла Вас, что, исходя из такой логики, лиственничные леса Восточной Сибири, состоящие из лиственницы со значительным участием березы, как листопадные леса не могут выполнять климатозащитную функцию?*

А.М. Макарьева: Если это первичные леса, и они листопадные, то они будут нести климатозащитную функцию.

О.Н. Липка (ИГКЭ): *Вы только что говорили о значительно более низкой роли листопадных лесов?*

А.М. Макарьева: Я сказала о том, что когда мы заменяем на Северо-Западе хвойные леса лиственными, и у нас формируется соответствующий климат, т.е. когда мы заменяем породы путем рубок с дальнейшей сукцессией, то у

нас появляются сезонные флуктуации, которых ранее не было. Таким образом климат дестабилизируется. Но общая наша позиция состоит в том, что механизм этого очень сложен. Поэтому, если, как Вы сказали, береза является компонентом естественного ненарушенного леса, то эта береза несет крайне важную функцию. Если это естественный лес, то его надо охранять. Если мы нарушили естественный лес, который хвойный с небольшим участием березы, и заменили его на целиком березовый лес, то с большой долей вероятности мы разрушим механизм, о котором говорилось. Вероятность того, что мы работающий сложный механизм заменим на что-то случайное, другое, а оно будет работать, такая вероятность практически равна нулю. Главное это сохранять естественный лес, который лучше знает, он адаптирован и эволюционно создан для своего назначения. Он является максимально эффективным климатическим стабилизатором

А.В. Фролов (Курчатовский институт): *Анастасия Михайловна, Вы упомянули в самом начале, что градиент давления, который генерируется неравномерным нагревом, на порядок слабее силы, которая возникает при конденсации в вертикальном столбе. Вот это утверждение, помимо оценок порядка величин, можете подтвердить количественно? Все-таки это утверждение довольно сильное.*

А.М. Макарьева: Да, это сильное утверждение. На основании нашей теории мы оцениваем мощность глобальной циркуляции. У нас получается 4 ватта на квадратный метр. А то, что мы имели из реанализа, это 3 или 3.5, то есть различие не на порядок, а процентов на 25%. Поэтому наша теория достаточно точно объясняет данные наблюдений. Безусловно, плавучесть что-то генерирует, но она не дает решающего вклада.

А.В. Фролов: *Вы говорите, что при конденсации падает давление, возникает его горизонтальный градиент, и из-за неразрывности среды возникает движение. Значит уравнения, которые здесь задействованы, это уравнения движения, первое начало термодинамики, уравнения для влаги и для водяного пара. Есть ли в этих уравнениях все необходимые слагаемые, чтобы объяснить Ваш механизм, или надо ввести какое-то новое уравнение*?

А.М. Макарьева: Очень хороший вопрос. В этих уравнениях присутствует параметр турбулентной вязкости. Турбулентная вязкость она там берется ниоткуда, у нас нет общей теории турбулентности. Поэтому, когда мы строим вот эти вот уравнения и прописываем циркуляцию, мы туда записываем турбулентность из наблюдений. Мы говорим, что вот эту вот турбулентность нужно связать с мощностью конденсации, поскольку в стационарном случае генерация равна диссипации. И в этом состоит, то, что мы предлагаем изменить.

А.В. Фролов: *Тогда Ваш вопрос, практически претензия к модели общей циркуляции атмосферы, что в ней недостаточно хорошо описываются*

турбулентность и конвекция, которые параметризованы. Если мы будем уменьшать шаг, то выйдем на явное описание конвекции. Турбулентность, наверное, явно описать не сможем.

И вот эта часть в докладе, которая о скрытом тепле, - там утверждение не очень понятное о том, что испарение компенсируются осадками обязательно. Но эти процессы нелинейные и происходят в разных районах, поэтому полной компенсации быть не может.

А.М. Макарьева: Я согласна, полной компенсации нет.

А.В. Фролов: *Ваша вся физическая доказательная база строится на балансах для общей циркуляции атмосферы, которые в общей циркуляции плохо замыкаются. Вы ссылаетесь на оценки балансов по реанализу, но в принципе энергетика плохо замыкается за счет солнечно-радиационного взаимодействия. Вы строите доказательства на примерах - ураганы или еще что-то…*

А.М. Макарьева: Ураганы, торнадо, общая циркуляция.

С.М. Семенов: Спасибо, есть вопросы еще?

А.А. Романовская(ИГКЭ): *Анастасия Михайловна, спасибо. Я действительно не сильна в этой части. А вот можно вот слайд, где Вы показывали примеры по Южной Америке по ходу ветров. Сначала казалось, что все осадки уже выпали - все, что неслось с океана - до нуля. А потом начали нарастать.*

А.М. Макарьева: Когда поток воздуха, несущий влагу, идет туда, он идет через сухой участок, и там конденсации не возникает. Все что идет - все и проходит «мимо», точка росы очень далеко, особенно над пустыней. А когда поток приходит к лесу, над ним все насыщено, там точка росы достигается, происходит конденсация, и вся влага вместе с местной поднимается и конденсируется.

А.А. Романовская (ИГКЭ): *А почему не сразу это происходит, а там, где-то только в конце, через четыре тысячи километров?*

А.М. Макарьева: Ну, по мере того как процесс нарастает.

А.А. Романовская (ИГКЭ): *Четыре тысячи километров нужно?*

А.М. Макарьева: Ну как-то да, тут уж что есть, то есть.

А.А. Романовская: *До этого были другие графики, и они более равномерную картину показывали, что лес распределяет у вас осадки равномерно, и это было мне как-то понятней.*

А.М. Макарьева: Потому что это для отдельного сезона. Там же еще по сезонам, вот я когда показывала, дело в том, что лес по сравнению с океаном маленький, он вынужден адаптироваться, и то, что там происходит, связано с тем, что в океане. Ему очень трудно выиграть в перетягивании каната с океаном. И то, что происходит над океаном, на него, конечно же, влияет.

А.А. Романовская (ИГКЭ): *Еще вопрос к вашим последним слайдам, где вы говорите о климатозащитных лесах. Вы ставите более или менее знак равенства между «климатозащитными» и «малонарушенными» лесами, предлагаете выделить вот эти малонарушенные в отдельную категорию и их не трогать, в том числе потому, что они являются насосом перераспределения влаги. Тогда возникает вопрос: малонарушенные леса наверняка не являются какой-то сплошной полосой, и они уже дискретно расположены в пространстве и, таким образом, уже не могут выполнять эту функцию полностью. Надо, наверное, что-то делать, досаживать? Может быть, если все вот это работает, может быть нужно рассчитывать какие-то траектории, по которым движутся потоки влаги, и оставлять полосы леса какой-то ширины (скажем, 300 км) на их пути?*

А.М. Макарьева: Безусловно, это большая работа. Если мы оставим все как есть, то, как сейчас и будет. У нас уже нарушена тяга.

С.М. Семенов: Спасибо, есть вопросы еще?

А.В. Фролов: Вот, все-таки, если у вас есть климатическая модель, все силы там учтены в уравнениях, но тогда в модели в численном эксперименте можно отключить какие-то параметры. Например, нет у Вас влаги в атмосфере, вообще нет влаги. И можно начать от нуля решать задачу на установление, и, Вы, очевидно, получите ту циркуляцию, которую мы сейчас имеем, более или менее, за исключением деталей внутритропической зоны конвергенции и еще чего-то. Но все основные процессы будут - перенос западно-восточный и его неустойчивость, и так далее. Муссоны, очевидно, скорее всего, тоже будут, поскольку они на разности температур, прежде всего, построены. И теперь можно отключить Солнце, задать влагу и посмотреть к чему это может привести. Какая сформируется циркуляция? Все-таки, основные движущие силы - это внешнее воздействие неравномерного нагрева. Вам просто надо показать величину вклада того основного процесса, о котором Вы в докладе говорили. Вы не думали с кем-нибудь поговорить из модельеров?

А.М. Макарьева: Мы, конечно, думали об этом. Но дело в том, что современные модели уже все запараметризованны очень сильно на идею, что у нас все движет дифференциальный нагрев. И поэтому, смотрите, что нужно поменять - нужно турбулентность завязать на конденсацию, которая является неустойчивым процессом, потому что она пропорциональна вертикальной скорости. У нас на самом деле конденсация связана с подъёмом. Это процесс,

который, вообще говоря, в отличие от испарения может происходить с любой скоростью. Это очень большая нелинейность, даже если простейшие модели берем. Тут очень большие сложности в расчётах. Поэтому перед нами эта проблема стоит, но пока мы решения не нашли.

Л.И. Ингин (НПО «Тайфун»): *Ведь над замыканием по турбулентности давно работают, гидродинамики давно это изучают. То есть Вас не устраивают современные методы замыкания турбулентности?*

А.М. Макарьева: Да, не устраивают.

С.М. Семенов: *У меня к вам вопрос из учебника. Ваши рассуждения начинаются с того, что если в одном месте давление понижается, а вокруг оно выше, то начинается перенос в направлении понижения. Мы знаем, как циклон устроен - в центре пониженное давление. Но это не означает, что ветер со всех сторон будет дуть в этот центр. Сила Кориолиса заставит его крутиться и, фактически, частицы будут двигаться не к центру, а под существенным углом к направлению к центру. Если градиент давления в данном случае направлен от океана к лесу, это не означает, что ветер будет дуть в ту же сторону. Это ускорение будет в ту сторону. Оно будет искажать реальную траекторию ветра, которая сложилась по другим каким-то причинам под влиянием других сил. Почему Вы считаете, что у Вас перенос так жестко контролируется именно градиентом давления?*

А.М. Макарьева: В лесу у нас имеется, кроме силы Кориолиса, еще и поверхностное трение, и лес на него очень серьезно влияет. Поэтому, безусловно, у нас будет влияние вращения Земли, которое будет вносить свою модификацию, и та шероховатость, которую обеспечивает лес, тоже будет играть свою роль. Та сложная система сил, которая в результате образуется, и будет в результате отвечать за перенос.

А.В. Фролов: *Вот пример по поводу важности термических сил. 50 лет назад в квазигеострофических моделях все переменные выражались через давление. Квазигеострофические модели в 1950 годы - начале 1960-х годов лежали в основе всех моделей, использовавшихся для прогнозов погоды. И как Вы можете объяснить, что они на несколько дней вполне удовлетворительно все описывали.*

А.М. Макарьева: Потому что 10 дней - время жизни водяного пара в атмосфере. То есть, Вы пишите начальные условия по той ситуации, которая есть. Это, знаете, как моделирование лавины - Вы не знаете, когда она пойдет, куда она пойдет. Но, когда процесс пошел, Вы можете его описать. Как только Вы выходите за время оборота водяного пара в атмосфере, то у Вас полностью отрубается возможность что-либо предсказать. Это как раз свидетельствует о том, что именно влагооборот определяет эту страшную цифру – предел предсказуемости в 7 дней, который метеопрогнозы не могут

преодолеть. Причина этого – неучет процессов, о которых мы говорили в докладе.

А.В. Фролов: *В современных моделях фазовые переходы влаги учитываются, а 7 дней остается. Потому что предел предсказуемости определяется совсем другим механизмом, связанным с неустойчивостью по начальным данным решений гиперболической системы уравнений.*

С.М. Семенов (председательствующий): Спасибо большое. Мы с вопросами завершили, спасибо за ответы. Валерия Васильевна Попова любезно согласилась выступить с комментариями.

РАЗВЕРНУТЫЙ КОММЕНТАРИЙ к.г.н. ПОПОВА Валерия Васильевна (Институт географии РАН) прилагается.

С.М. Семенов: Спасибо, Валерия Васильевна. Желает кто-нибудь еще что-нибудь сказать?

А. В. Нефёдов (ПИЯФ): Для пустыни и естественного леса, например, в бассейне реки Енисей экспериментальные данные по пространственному распределению осадков имеют разный порядок величины – сотня километров и тысячи километров, соответственно. В первом случае это чисто физическая система, во втором случае включена биота. Без биотического насоса объяснить эти экспериментальные данные нельзя.

В.Н. Коротков (ИГКЭ): На мой взгляд, очень интересный подход и новаторский в климатологии, в том числе в географии. Ведь традиционный взгляд географов - все определяется внешними условиями: вот у нас температура, осадки и т.д. и соответственно формируется тот или иной тип зональной растительности. Но тут акцент на том, что биота, и, в частности, лесной покров - тоже активный средопреобразователь, который тоже влияет на климат. Если мы лесное одеяло натянем, расширим его, то у нас климат изменится. Большое достоинство вот этого подхода в том, что биота не пассивный индикатор, а также активный средопреобразователь. Действительно лесной покров меняет климат, огромную роль играет в формировании речного стока. Представление о биотическом насосе - очень важная концепция. Этот подход можно использовать и в моделировании, в том числе и в климатических моделях.

А.В. Фролов: Я хотел бы поблагодарить Анастасию Михайловну за очень интересный доклад. Хочу сказать, что Анастасия Михайловна весьма неординарно мыслящий человек. По сути, в основе её исследований лежит одна главная физическая идея, связанная с тем, что при конденсации в поле силы тяжести возникает градиент давления, который в силу неразрывности атмосферы приводит к горизонтальному движению и является, как сказано, главной движущей силой атмосферной циркуляции. Сам механизм вряд ли

кто оспаривает, но дальше возникают вопросы, что является главным и важнейшим. Примеров много можно привести, но, примеры не могут считаться доказательствами. Нелинейные процессы, связанными с конденсацией, очень плохо описываются в моделях, особенно с учетом традиционного солнечного воздействия. При этом сами уравнения общей циркуляции атмосферы тоже нелинейны, что ещё больше усложняет задачу. Но, тем не менее, надо обязательно развивать эту идею, но, может быть, без таких амбициозных заявлений, чтобы не создавать ощущения ниспровержения основ. Скорее всего, это может быть важным дополнением к теории тех же муссонов и Эль-Ниньо, возможно. Как дополнение, которое позволяет невязки увязать между собой в численных расчетах.

Если же говорить о лесах, о биотическом насосе, то это все-таки другого уровня гипотеза, еще менее подтверждаемая фактами, слишком это просто. Совершенно справедливо было замечено, что основной перенос осадков связан с циклонами, фронтальными зонами. Так что подстилающая поверхность – это влияние факторов второго порядка по сравнению с той неустойчивостью, которая уже развивается в атмосфере. Например, выходит тайфун с юга через Китай, попадает на полярный фронт, происходит его интенсификация, выпадают мощнейшие осадки. Блокирование зонального переноса над Тихим океаном также ведёт к затяжным осадкам над Амуром, как в 2013 году. В этом году на Дальнем Востоке аналогичное наводнение, и лес здесь, по-видимому, всё-таки фактор второго порядка.

А.М. Макарьева: Я бы хотела поблагодарить всех за интерес к нашей работе и заинтересованное обсуждение, особенно Валерию Васильевну Попову и Александра Васильевича Фролова. Хочу сказать отдельно о циклонах. Действительно у нас идет транспорт влаги в виде циклонов, но возникает вопрос: шли бы эти циклоны именно так на эти семь тысяч километров, если бы у нас была, как в Австралии, пустыня, а не тот лес, который сейчас есть. Потому что циклоны требуют влаги, сухих циклонов не бывает, это тоже важная вещь. Поэтому, Валерия Васильевна, Вы правильно упомянули блокирующий, и пока он блокирован, там идут осадки и все заливает. А если бы был нормальный лес, была бы тяга и он бы проходил дальше. Я ни в коем случае не отрицаю того что у нас происходит на шестидесятой параллели. Но эти циклоны могли быть принципиально другими, и не было бы такого подъема и осадков, которые мы сегодня наблюдаем, если бы у нас не было семи тысяч километров бореального пояса. Потом, это расхожая фраза, что лес растет там, где идет дождь. Безусловно, можно спорить о курице и яйце, но есть же примеры, скажем, Австралия. Понимаете, мы не можем ориентироваться только на учебники и игнорировать огромную современную литературу. Я бы хотела, чтобы комментаторы немножко почитали современную литературу, не только учебники. Мы вообще недостаточно знаем о нашей атмосфере. Огромные интеллектуальные усилия прилагаются во всем мире, а мы сидим читаем учебники пятидесятых годов! Поэтому, я

хочу сказать, что есть Австралия, про Австралию куча исследований. У них там очень серьезная ситуация. Они исследуют, куда делся лес, никаких экстремальных климатических масштабных изменений не было. Предполагается, что лес исчез в связи с пришествием человека. А вот, как Сергей Михайлович упомянул, если вокруг леса пустыня, то он влагу с нее не натянет. Значит, когда пришли первые аборигены и повыжгли весь лес, то биотический насос перестал работать. При тех же геофизических условиях континент стал пустыней. Конечно, у нас есть условия, благоприятствующие лесу. Его уничтожить полностью и сделать пустыню труднее, чем в Австралии. Конечно, никто не отрицает, и это было бы глупо, что есть солнечное распределение и океан занимает 2/3 суши, сложнейшая проблема жизни на суше - бороться с океаном, потому что вся конденсация сосредоточена на океане, поэтому это сложное дело, безусловно, влияют геофизические факторы. Но мы говорим именно о том, что, как Владимир Николаевич упомянул, лес это очень сильный и активный агент, чье влияние на климат до сих пор недооценивалось в тех учебниках, которые здесь цитировались. А мы приводим аргументы из современной литературы, которая базируется на огромном потоке данных, собранных за последние десятилетия. Эти данные были недоступны тем людям, которые тогда были выдающимися, уникальными исследователями. Наука идет вперед.

О.Н. Липка (ИГКЭ): Наверное, в дальнейших исследованиях стоит уделить больше внимания типам леса. Вы говорите о ненарушенных лесах, их роли, что именно мы имеем в качестве ненарушенных лесов. Например, в той же Западной Сибири наши ненарушенные леса - очень чахлые, низкорослые и редкостойные леса на болотах. То же в Восточной Сибири - это сильно разреженные лиственичники, очень сильно разреженные. Поэтому они транспирируют очень мало. А вот те леса, которые по югу Сибири, они сейчас во многом действительно вырублены. То есть, нужно посмотреть этот вот баланс, посмотреть действительно насколько реально эти леса могут транспирировать. Потому что европейские леса густые, продуктивные - это одно. Дальше мы имеем леса Алтая, но они очень далеки от океана, дальше мы имеем хвойные и широколиственные леса на дальнем востоке, они тоже очень мощные. Но вот в середине этой области у нас есть очень-очень слабые леса, малопродуктивные, низкорослые и с низкой транспирационной способностью.

А.М. Макарьева: Я хотела бы еще сказать, что помимо транспирационной способности очень важная способность хранить влагу. В этом смысле, эти низкопродуктивные леса очень много хранят влаги, каким- то образом они ее аккумулируют.

О.Н. Липка (ИГКЭ): Тогда можно добавить и нижний слой, что находится под ними. Потому что если мы подходим к этому, то мы имеем торфяные залежи, которые аккумулируют огромное количество влаги и сверху

сфагновый покров. Я думаю, это тоже можно будет добавить и усилить этот компонент.

А.М. Макарьева: Я с вами полностью согласна.

А.В. Нефедов (НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ): По поводу ураганов, еще раз. Еще одна функция леса - трение. Казалось бы, причем здесь это, почему влаги в атмосфере 3% , а не 10% или не 20. На самом деле 3% достаточно для того чтобы реализовать динамику атмосферы. Известный экспериментальный факт, что в лесу торнадо не возникают, потому что они разрушаются лесом. За счет леса не достигаются критические максимальные скорости.

А.А. Романовская (ИГКЭ): Спасибо. Я сначала не хотела выступать, но дело в том, что мы с коллегами встречались, я читала и комментировала их работы. Но после того, что сказал Александр Васильевич, с точки зрения физика, я примерно то же самое написала коллегам ранее с точки зрения биолога. Я сказала, что работа интересная, просто, кажется, что надо правильно расставить акценты и вписать ее с этими акцентами в общую систему. Она не противоречит ничему, все что вы предлагаете. Единственно, во многих местах переставить акцент с глобальной роли на локальную роль, и все у вас заработает. И климатическая роль лесов на локальном уровне тут же заработает. Есть какие-то более глобальные процессы, но ведь то, что вы говорите, никто не опровергает, оно работает. И здесь встает вопрос, что в какой-то момент и этот вторичный эффект леса вдруг может стать определяющим, если больше никаких ограничительных факторов не влияет. Может быть, в Австралии этот эффект стал определяющим, раз там нет каких-то более крупных. Ваша работа не противоречит никаким канонам, ее просто нужно аккуратно встроить в нынешнюю систему и дополнить. Вот недавно был принят последний специальный доклад МГЭИК «Изменение климата и суша», и там собраны различные биофизические идеи, которые дополняют обычные представления о геохимических циклах и воздействиях экосистем суши на климат - дополняются биофизическими идеями. Это не значит, что они противоречат биохимии. Но просто комплекс начинает работать чуть-чуть по-другому. И когда и что будет более главным, будет решаться уже на каких-то локальных уровнях. Чуть-чуть спуститься на уровень пониже, и у Вас все заработает, действительно интересно будет.

С.М. Семенов (председательствующий): Давайте завершать, коллеги. Я не буду делать пространных заключений, потому что и так много сказано, Александр Васильевич сказал и Анна Анатольевна сказала. Мне кажется, что мы примем к сведению, что теория, которую Вы излагаете, хорошо объясняет экстремальные явления торнадо, ураганы и так далее. Мы этим здесь не занимаемся, но Вы здесь сообщили, что это так, и у Вас есть публикации на эту тему. Вы сказали, что есть дополнение обычной теории, усиливающее роль процесса конденсации в образовании движения воздуха. Далее Вы

говорили о том, что есть некий механизм, основанный на свойствах лесов, который обеспечивает движение воздушных масс в большом масштабе с океана на континент. Эта идея очень симпатичная, однако, с моей точки зрения, представленная теория до конца ее не объясняет. Хотя некоторые предпосылки для объяснения были изложены. Так что, мне кажется, нужно какое-то время потратить на теоретическую доработку концепции и потом уже говорить о разных климатических лесах и всем таком прикладном. Большое Вам спасибо, Анастасия Михайловна, за доклад и больше спасибо Валерии Васильевне за комментарий. Всем спасибо.