

УДК 551.510.534:551.576

Зимние полярные стратосферные облака 2010 года в высоких широтах

В.А. Терещенко, В.Д. Терещенко, С.М. Черняков

Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Аннотация. Представлены результаты фотографических наблюдений полярных стратосферных (перламутровых) облаков над Мурманском в январе-феврале 2010 г. Определены высоты стратосферных облаков, обсуждены условия их образования и воздействие на общее содержание озона в атмосфере.

Abstract. Results of photographic observations of polar stratospheric (nacreous or mother-of-pearl) clouds above Murmansk (Russia) during January-February 2010 have been presented. Heights of the stratospheric clouds have been defined, conditions of their formation and their impact on the total ozone content have been discussed.

Ключевые слова: полярные стратосферные облака, перламутровые облака, озон, озоновые дыры, водородная дегазация Земли, землетрясение

Keywords: polar stratospheric clouds, nacreous clouds, ozone, ozone holes, hydrogen degassing of the Earth, earthquake

1. Введение

11 и 19 января, 8 и 10 февраля 2010 года в Мурманске (68° 58' с.ш., 33° 05' в.д.) в период с 5:30 до 11:30 UT в угловом секторе ±20 градусов относительно южного направления на высотах 15-25 км наблюдались полярные стратосферные (перламутровые) облака. Аналогичное, очень красивое и редкое явление было зафиксировано над Мурманском 29 января 2008 г. (Tereshchenko, Tereshchenko, 2008), а также в январе 1997 г. и в декабре 2003 г. За всю историю физики атмосферы перламутровые облака визуально наблюдались редко, поэтому, в силу редкости этого явления, эти облака мало изучены. Они обладают высокой отражательной способностью, благодаря которой светятся, переливаясь, как морские раковины. Вместе с тем, стратосферные облака – это не просто предмет любопытства специалистов. Появление этих облаков – верный признак изменения условий в атмосфере, и по этим облакам можно судить о различных химических процессах, ведущих к разрушению озонового слоя.

Перламутровые облака как самостоятельное физическое явление начали описывать с конца XIX века. Впервые перламутровые облака были зафиксированы с использованием спутникового прибора SAM II, расположенного на борту спутника, зимой 1978-1979 гг. под озоновыми дырами в Антарктиде и поэтому получили название полярных стратосферных облаков (PCO) (McCormick et al., 1982). В последующие годы для изучения PCO использовали разнообразные спутниковые методы с различной спутниковой аппаратурой SAGE I, II и III, POAM II и III, CLAES, ILAS II, MIPAS (Поляков и др., 2008). Поскольку они образуются в стратосфере на высотах 15-30 км, то их иногда называют просто стратосферными облаками. Внешний вид наблюдаемых облаков имеет некоторое сходство с перистыми, перисто-кучевыми и высоко-кучевыми чечевицеобразными облаками с очень сильной иризацией, т.е. с радужными переливами. В основном они формируются и существуют в стратосфере полярных районов обоих полушарий в условиях местной полярной зимы (Solomon, 1999): в Антарктике они появляются с июня по сентябрь, а в Арктике – с декабря по середину марта (Saitoh et al., 2002), когда температура воздуха на двадцатикилометровой высоте опускается до минус 80 °C и ниже.

В отличие от тропосферы, стратосфера является сухой областью атмосферы, и поэтому образование облаков здесь явление редкое. Стратосферные облака образуются при экстремально низких температурах при совместной конденсации паров воды и азотной кислоты на сульфатных частицах фонового стратосферного аэрозоля, а также в отдельных случаях при замерзании частиц (Seinfeld, Pandis, 1998). Эти облака различаются по химическому составу и микрофизике. Термин PCO фактически объединяет различные типы стратосферных облаков, что отражается в специальной классификации PCO по различным типам (Strawa et al., 2002).

Исследования показали, что все типы PCO можно подразделить на два больших типа: тип I и тип II (Poole, McCormick, 1988). При этом тип I подразделяется на два подтипа: Ia и Ib (Browell et al., 1990). Некоторые исследователи добавляют еще тип Ic. В основе образования облаков типа I лежат сульфатные аэрозоли, которые являются центрами для формирования частиц PCO. Так как стратосфера охлаждается в полярных областях, то стратосферные сульфатные аэрозоли абсорбируют газообразную воду и азотную кислоту, формируя трехкомпонентный раствор (H₂SO₄/HNO₃/H₂O). Продолжающаяся

абсорбция воды и азотной кислоты при дополнительном охлаждении может вызвать разбавление концентрации H_2SO_4 до такой степени, что раствор превратится в смесь $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$. В результате получается замерзание тригидрата азотной кислоты (*Molina et al.*, 1993; *Iraci et al.*, 1994; 1995) и/или дигидрата азотной кислоты (*Tisdale et al.*, 1997). Получающиеся в результате обоих процессов замерзания облака называются облаками типа I. К типу Ia относят ПСО, содержащие твердые гидраты азотной кислоты, к типу Ib относят азотную кислоту в жидком трехкомпонентном растворе с водой и серной кислотой. ПСО типа I формируются при температуре ниже 195 К (*World Meteorological Organization*, 2003). Тип Ic определяют как облако, состоящее из маленьких несферических частиц метастабильной фазы системы азотная кислота – вода.

Стратосферные облака играют существенную роль в появлении озоновых дыр (*Сывороткин*, 2002; *Тун, Турко*, 1991). Для того чтобы проявилось эффективное воздействие хлора на озоновый слой, необходимы особые условия для разрушения его соединений в инертных резервуарах (HCl , ClONO_2 и др.). Эти условия были выявлены благодаря открытию основной закономерности строения озоновых дыр – наличию в них стратосферных облаков, состоящих из кристалликов водного льда с вмороженными в них различными веществами. Среди последних важную роль играет тригидрат азотной кислоты. В условиях низких температур полярной ночи вещества, загрязняющие атмосферу, не подвергаются разрушению ультрафиолетовым светом и замерзают. Весной ультрафиолетовые лучи дают начало процессам, которые преобразуют изначально безвредные для озона вещества, накопленные в облаках, в высокоактивные радикалы, которые реагируют с озоном и вызывают уменьшение его содержания в атмосфере. Наиболее распространенное представление об образовании стратосферных облаков основано на предположении, что основным источником их образования являются выбросы относительно инертных хлорфторуглеродов (хладагентов), а также промышленных газов в атмосферу. Альтернативные гипотезы предполагают, что основным источником образования полярных стратосферных облаков является глубинная дегазация Земли, т.е. в резкое увеличение потока газов, в том числе водорода, из внутренних областей Земли, прежде всего ядра (*Маракушев*, 1998; *Сывороткин*, 2002). С точки зрения этих авторов, основной вклад в разрушение атмосферного озона также вносит глубинная дегазация Земли. Если их предположения верны, то проблема хладагентов перестает быть проблемой, требующей особого внимания.

В работе представлены результаты фотографических и визуальных наблюдений стратосферных облаков и определена нижняя граница облачного поля. Сделаны предположения о возможной зависимости между появлением перламутровых облаков и некоторыми геофизическими явлениями.

2. Результаты наблюдений

На рис. 1 показаны полярные стратосферные облака, которые наблюдались над Мурманском 11 января 2010 г. с 07:20 UT. В 10:30 UT они были закрыты серыми облаками нижнего яруса. Солнце в этот день находилось под линией горизонта. Высота нижней границы облачного поля, найденная на основе концепции эквивалентного радиуса Земли (*Tereshchenko, Tereshchenko*, 2008), была равна 20-25 км. По данным высотного зондирования Мурманского управления Гидрометеослужбы, температура воздуха на этих высотах опускалась до минус 85 °С.

На рисунке зафиксировано два типа ПСО, похожие по форме на перисто-кучевые. Облака обладают очень насыщенной переливающейся радужной окраской. Такую световую гамму дают мелкие кристаллы воды и азотной кислоты примерно одинакового размера, составляющие облако и преломляющие солнечные лучи. По нашим оценкам, облака первого типа находились на расстоянии около 50 км от места



Рис. 1. Полярные стратосферные облака над Мурманском 11 января 2010 г.



Рис. 2. Полярные стратосферные облака над Мурманском 19 января 2010 г.



Рис. 3. Полярные стратосферные облака над Мурманском 8 (слева) и 10 (справа) февраля 2010 г.

наблюдения (68.948° с.ш., 33.063° в.д.) в юго-западном направлении. По форме и свечению они были похожи на облака, которые наблюдались в Мурманске 29 января 2008 г.

На рис. 2 изображены полярные стратосферные облака, которые появились 19 января. Облака этого типа обладают очень насыщенной переливающей радужной окраской. По внешнему виду они имеют некоторое сходство с иризацией высоких перистых облаков, которые образуются на более низких высотах – ниже 13.5 км.

Полярные стратосферные облака, обнаруженные в стратосфере 8 и 10 февраля 2010 г., по форме и расцветке были похожи на январские (рис. 3). Однако средние высоты нижней границы облачного поля были на 5 км ниже и составляли 15-20 км. Время регистрации этих облаков было на 2 часа больше, т.е. около 6 часов. Облака наблюдались не только при восходе и заходе Солнца, но и тогда, когда Солнце находилось над линией горизонта.

Спутниковые наблюдения полярных стратосферных облаков позволяют достаточно точно определять местонахождения, размеры и динамику облаков. На рис. 4 даны фотографии облаков над Мурманском с земли (слева) и в это же время сверху со спутника DMSP¹ (справа). Фотографии облаков были сделаны 29 января 2008 г. Во время наблюдения отсутствовали тропосферные облака и, таким образом, спутниковые фотографии показывают местонахождение ПСО. Оценка площади ПСО над Мурманском по данным спутниковой фотографии дает величину около 5000 кв. км. Подобные оценки размеров ПСО до этого не проводились. На фотографии справа видно, что облака наблюдались не только в Мурманске, но и в Северной Норвегии. В январе 2008 г. многочисленные наблюдатели отмечали и зафиксировали большое количество появлений полярных стратосферных облаков в различных областях Норвегии и Швеции, в том числе и в северной части Норвегии. Наблюдения, к сожалению, часто бывают ограничены из-за погодных условий, прежде всего, из-за наличия более низких тропосферных облаков.

¹ Defence Meteorological Satellite Program, метеорологическая спутниковая программа министерства обороны США <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/querydmsp.do>

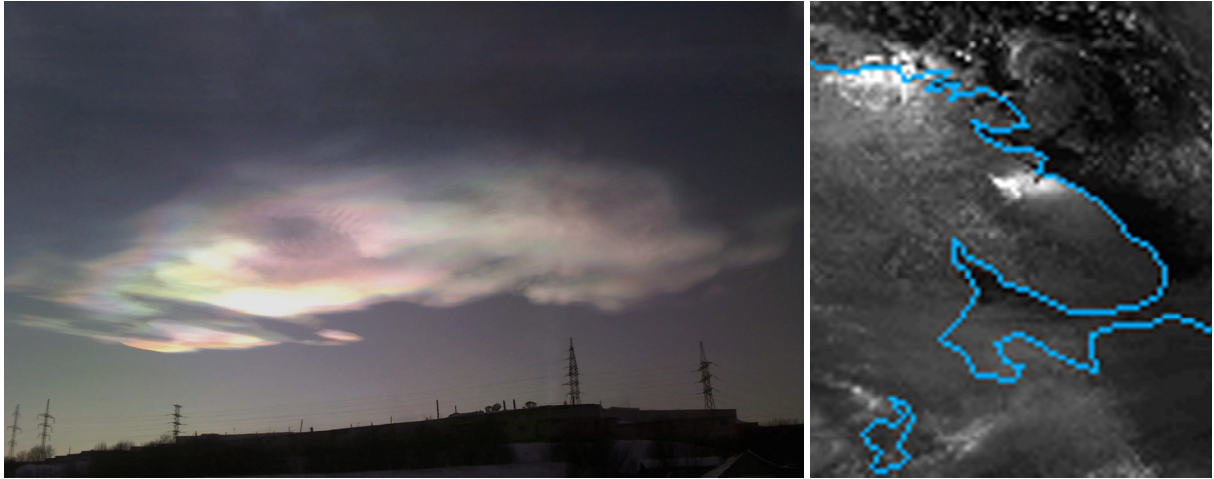


Рис. 4. Фотографические наблюдения полярных стратосферных облаков над Мурманском с земли (слева) и из космоса со спутника DMSP (справа)

Анализ гелиогеофизических условий в январе-феврале 2008 и 2010 гг. показал, что в дни обнаружения полярных стратосферных облаков Солнце было спокойным, а геомагнитная активность – низкой. Суммарный за сутки К-индекс геомагнитной активности находился в диапазоне значений от 6 до 13. Поэтому космофизические факторы не могли непосредственно привести к увеличению температуры стратосферы в эти дни.

3. Обсуждение

Появление полярных стратосферных облаков связано с температурой в стратосфере. С ее понижением регулярно образуются ПСО. Температура, кроме прочего, зависит от содержания озона. Чем больше содержание озона в некотором слое атмосферы, тем больше тепла он аккумулирует. Соответственно, чем меньше содержание озона в атмосфере, тем меньше ее температура. В настоящее время количество озона в стратосфере уменьшается, особенно в Арктике и Антарктике. Кроме того, существует определенный парадокс: чем выше будет подниматься температура низких слоев атмосферы и поверхности планеты, тем холоднее будет в стратосфере.

Главным механизмом разрушения озонового слоя является формирование стратосферных облаков азотно-водного льда. Странники техногенной концепции считают, что облака активизируют хлор из антропогенно-вулканических резервуаров, распространенных в атмосфере Земли. С весенним потеплением процесс образования химически активного атомарного хлора усиливается. В результате реакции свободного хлора с озоном происходит разрушение озонового слоя и образование так называемых "озоновых дыр". Дальнейшее повышение температуры ведет к испарению льда, и озоновый слой начинает восстанавливаться.

Странники эндогенной гипотезы не отрицают роль хлорсодержащих фреонов, хотя и ставят под сомнение существенный вклад техногенных процессов в концентрацию последних в атмосфере. С их точки зрения, основной вклад в образование ПСО и, соответственно, в разрушение атмосферного озона вносит глубинная водородная дегазация Земли (Маракушев, 1998; Сывороткин, 2002). Главными направлениями такой дегазации служат рифтовые структуры океанов и горячие точки Земли, которые фиксируются по разрушению над ними озонового слоя. Фиксация восходящих флюидных потоков озоновыми дырами свидетельствует о том, что водно-водородные струи в них достигают стратосферы, генерируя протяженные ледяные облака, способствующие разрушению озонового слоя. Наиболее близкой к Мурманску является Исландская область разрушения озонового слоя. Это одна из возможных причин того, что в Скандинавии полярные стратосферные облака можно наблюдать почти каждую зиму.

Появление стратосферных облаков в результате водородной дегазации ведет к другому интересному следствию, которое может быть использовано в предсказании землетрясений. Связь землетрясений с дегазацией может быть двоякой: с одной стороны, сейсмическое событие может способствовать выбросу дополнительных порций глубинных газов, с другой – вполне возможно, что сам процесс глубинной дегазации порождает сейсмические события. Большое число фактов прямо указывает на тесную связь землетрясений и процесса глубинной дегазации (Сывороткин, 2002). Во-первых, это пространственное совпадение эпицентров землетрясений и зон интенсивной дегазации в осевых частях рифтовых зон и разломах; во-вторых, прямая связь вулканических извержений (а это проявление планетарной дегазации) и сейсмособытий; в-третьих, данные о корреляции флуктуаций потоков газов

(радона, гелия, водорода) и землетрясений; в-четвертых, примеры провоцирования землетрясений при поступлении жидкого флюида в глубокие недра при закачке скважин и заполнении водохранилищ прямо указывают на возможность землетрясений при поступлении природных флюидов в верхние горизонты литосферы снизу с больших глубин.

Наличие газогеохимических проявлений сейсмических событий были выявлено в 1966 г. во время Ташкентского землетрясения. Сразу после главного толчка в эпицентральной зоне было обнаружено увеличение в газах содержания гелия, аргона и метана, в водах – ртути, мышьяка и урана. В дальнейшем было установлено, что в эпицентральной зоне землетрясения содержание водорода может возрасти на 5-6 порядков, метана – на 2 порядка, углекислого газа – на 1 порядок (Осика, 1981; Фирстов и др., 2006).

Существующие модели землетрясений, как правило, рассматривают в качестве основного источника землетрясения мгновенную разрядку упругой энергии пород, накопленной в ходе тектонических процессов. Существующие оценки энергий землетрясений (Гуфельд и др., 1998; Зубков и др., 2009; Страхов, 1989) показывают, что одной упругой энергии пород может быть недостаточно для инициирования землетрясений, и что для их объяснения необходимо использовать иные объяснения, чем привычные сейсмологические модели.

В настоящее время существует несколько моделей подготовки и проявления землетрясений, связанных с эндогенными газовыми процессами, которые могут проявляться во внешней атмосферной оболочке Земли. Одна из них рассматривает импульсные источники энергии в мантии и земной коре (Зубков и др., 2009). Как известно, землетрясения сопровождаются образованием геохимических ореолов (Осика, 1981), что позволяет подойти к эндогенному флюиду не только как "смазке" при внезапном механическом смещении блоков земной коры или как к источнику (за счет Н и Не), увеличивающему энергонасыщенность и изменяющему физико-механические свойства минералов и пород (Гуфельд и др., 1998), но и как возможному источнику энергии, инициирующему при детонации землетрясение. К таким импульсным источникам энергии относят углеводороды (высокомолекулярные соединения, метан и его ближайшие гомологи), водород, твердые фазы, находящиеся в крайне метастабильном состоянии (Зубков, Карпов, 1993). Если оценить подъем твердых углеводородов в верхней мантии, то оказывается, что при определенных условиях образующиеся в результате этого процесса углеводородные газы могут концентрироваться в зонах глубинных разломов в земной коре и при условии достаточного количества кислорода взрываться, вызывая землетрясение (Зубков и др., 2009). При этом в детонации флюидных очагов могут принимать участие газы CO₂, CO, H₂O и др. При детонации природных газов за счет избыточного давления создается ударная волна и генерируются объемные и поверхностные сейсмические волны, происходят землетрясения, образуются трещины на поверхности земли, по которым поднимаются газы из центра взрыва. Исходя из флюидно-взрывной модели землетрясений, предлагается (Зубков и др., 2009) изменить подход к поиску их предвестников. Отмечено, что важная роль в предсказании землетрясения в этом случае отводится геохимическим предвестникам. В подготовительную стадию землетрясения происходит накопление флюида в сейсмическом очаге, частичная его дегазация и разложение с подъемом газов к земной поверхности непосредственно или с растворением их в подземных водах. Затем, в стадии детонации, изменяется состав и скачкообразно увеличивается количество газов и тепловой поток, которые достигают земной поверхности с некоторым опозданием, обусловленным временем их прохождения из сейсмического очага. Сопоставления полученных результатов с наблюдениями прошлых лет показали (Осика, 1981; Сывороткин, 2002), что в результате сейсмического события изменение химического состава подземных вод и газов происходит не только в эпицентре, но и в зонах 7-5- и даже 4-бальной интенсивности на расстоянии свыше 200 км. Предложенная модель пока не подтверждена геофизическими данными разведки и до некоторой степени вступает в противоречие с имеющимися данными. Тем не менее, она интересна для нашего рассмотрения, поскольку предполагает интенсификацию процессов выхода газов как в период подготовки землетрясения (усиление давления газов), так и в процессе самого землетрясения (взрывное усиление давления газов), а значит, увеличение вероятности образования стратосферных облаков.

С точки зрения теории водородной дегазации Земли и ее связи с образованием стратосферных облаков и сейсмичностью, представляет интерес появление радужных стратосферных облаков за полчаса до начала сильного землетрясения в Китае 12 мая 2008 года на расстоянии 430 км от эпицентра толчков². В работах (Маракушев, 1998; Сывороткин, 2002) предполагается, что при водородной дегазации может происходить образование стратосферных облаков. В то же время дегазация Земли тесно связана с сейсмичностью. Поэтому этот факт появления стратосферных облаков перед землетрясением можно связать с активизацией глубинной дегазации Земли и выбросом газов в атмосферу на фазе подготовки землетрясения, который привел к образованию стратосферного облака. Поскольку для образования

² <http://news.qq.com/a/20080513/004283.htm>

стратосферных облаков, как указывалось выше, необходимо иметь низкие температуры, то, вероятно, интенсивная "водородная" продувка стратосферы сопровождается ее охлаждением, подобно тому, как это происходит при адиабатическом расширении газа в воздушной струе распылителя. Этими факторами можно объяснить появление стратосферных облаков в областях, далеких от полярных районов. Таким образом, можно предположить, что появление стратосферных облаков в сейсмических районах является признаком усиления дегазации Земли в этих областях и возможного землетрясения, т.е. служить предвестником землетрясения.

В статье (*Черемисин и др.*, 2007) описывается появление стратосферных облаков над Якутском (62° 02' с.ш., 129° 44' в.д.). Согласно данным измерений, зимой 2004/05 г. в этом районе в нижней стратосфере достаточно часто отмечались мощные аэрозольные слои, которые эпизодически удавалось визуально наблюдать как стратосферные облака. Причем в ноябре 2004 г. полярные стратосферные облака наблюдались при температуре стратосферы, которая была значительно выше той, при которой возможна конденсация частиц полярных стратосферных облаков. Авторы объясняют появление наблюдаемых стратосферных облаков переносом этих стратосферных облаков из района Норвежского моря. Но возможно и другое объяснение появлению стратосферных облаков в этом районе. Дело в том, что район Якутска характеризуется наличием геологических разломов и повышенной дегазацией Земли (*Сывороткин*, 2002). Возможно, что в рассматриваемый период в районе Якутска было усиление дегазационных процессов, которые в условиях зимы привели к эпизодическим появлениям стратосферных облаков. *Дмитриевский* (2010) отмечает, что замечены выбросы гелия, водорода и метана, связанные с землетрясениями, удаленными на сотни и тысячи километров. В рассматриваемый период в районе Якутска (для анализа нами был выбран участок по широте от 56° с.ш. до 68° с.ш. и по долготе от 121° в.д. до 137° в.д., квадрат со стороной около 1300 км с центром в районе Якутска) было отмечено несколько землетрясений: а) 22 сентября 2004 в 09:48:52.17 UT, магнитуда 4.5, очаг 67.63° с.ш., 128.89° в.д. на глубине 4 км; б) 11 октября 2004 в 17:22:45.80 UT, магнитуда 4.1, очаг 61.86° с.ш., 133.64° в.д. на глубине 10 км (*National Earthquake*, 2010). По данным (*National Earthquake*, 2010) в этом районе последнее землетрясение до рассматриваемого периода было за год до этого (19 октября 2003) и затем только через год (10 ноября 2005). Сведений о наблюдениях, которые бы связали появление стратосферных облаков и последующих землетрясений, нам не удалось найти в литературе.

Важные для водородной гипотезы результаты относительно озоновой аномалии были получены геологами Кольского научного центра РАН в г. Апатиты (*Сывороткин*, 2005). Мониторинг выделения водорода в Хибинских горах (давно известных интенсивными выделениями метана и водорода) и общего содержания озона в Мурманске по данным Мурманской аэрологической станции в апреле 2005 г. показал синхронность этих процессов – усиления водородной дегазации и падения общего содержания озона. Наличие озоновой аномалии над Кольским полуостровом в это время было зафиксировано и американским космическим спутником "EarthProbe". Результаты анализа наблюдений свидетельствуют в пользу сторонников глубинной дегазации Земли и их выводов о ее влиянии на процессы в атмосфере. Позже, в 2007 г., в Хибинском массиве обнаружена связь глубинной дегазации с гравитационным воздействием Луны и Солнца. К сожалению, данных по изменению концентрации водорода в воздухе в связи с сейсмическими событиями отрывочны, длительных рядов по водороду практически нет. Больше данных есть по гелию и радону (*Уломов и др.*, 2007; *Уткин*, 2000). Учитывая рассмотренное, представляется интересным организовать в районах потенциальных землетрясений наблюдения за стратосферными облаками или их сопутствующими проявлениями, такими как общее содержание озона в стратосфере, выделение водорода, как вероятными предвестниками землетрясений.

При рассмотрении вопросов образования стратосферных облаков возникает вопрос: каким образом образуются эти огромные облака на высотах 15-30 км при небольшой, близкой к 1 %, относительной влажности воздуха? Содержание водного пара в стратосфере в тысячу раз меньше, чем в тропосфере, где образуются обычные облака. Очевидно, что накопление водного льда в стратосферных облаках, фиксирующих озоновые дыры, связано с особыми факторами. Не рассматривая все возможные источники появления воды в стратосфере, отметим, что при формировании стратосферных облаков одной из функций водорода является генерация воды. Вода образуется при прямом воздействии водорода на озон, а также при его возвращении из нижней термосферы в составе продуктов горения, в основном в виде водяного пара. Теоретически установлено, что на высотах 120-200 км происходит самовоспламенение и выгорание водорода (*Николаев, Фолин*, 1997). Образующийся при сгорании водорода водяной пар опускается вниз до высот тропопаузы (10-15 км). При определенных условиях водяной пар на высотах мезосферы и стратосферы может превратиться в мельчайшие льдинки, количества которых достаточно для образования серебристых и перламутровых облаков. В процессе горения водорода образуется и атомарный кислород, который, соединяясь с молекулярным кислородом, превращается в озон. Мощность такого источника озона пропорциональна содержанию молекулярного

водорода в нижних слоях атмосферы. Этот механизм позволяет по-новому взглянуть на причины возникновения озоновых дыр.

Для формирования стратосферных облаков, помимо остальных условий, требуется самое главное и необходимое условие – низкие температуры. Один из механизмов охлаждения атмосферы на стратосферных высотах связан с обтеканием воздушными потоками больших препятствий (горные хребты и т.п.). При таком прохождении появляются колебания воздуха. В случае, когда поток воздуха действует постоянно в течение некоторого времени, то он формирует устойчивые волны с подветренной стороны гор. Эти подветренные волны представляют собой потоки волн, которые поднимаются и опускаются несколько раз. В областях, где они поднимаются, воздух расширяется и охлаждается. Над Скандинавией часто дуют насыщенные влагой западные ветры с Атлантического океана. Особенность расположения Скандинавских гор играет барьерную роль по отношению к западным ветрам. Они блокируют западные ветры, создавая подветренные колебательные движения воздуха, что приводит к локальному охлаждению области атмосферы над горами, и создаются условия для образования полярных стратосферных облаков в Скандинавии и последующего переноса их в район Кольского полуострова. Это приводит к понижению общего содержания озона над Кольским полуостровом и акваториями окружающих его морей, а, следовательно, появляется реальная угроза для биосферы в этом районе.

4. Заключение

Представлены результаты визуальных и фотографических наблюдений полярных стратосферных облаков в Мурманске в январе-феврале 2010 г. На основе концепции эквивалентного радиуса Земли определена высота нижней границы облачного поля, которая согласуется с высотами, определяемыми другими способами. Сделаны предположения о возможной зависимости между появлением полярных стратосферных облаков и некоторыми космофизическими явлениями, в частности, с геомагнитной возмущенностью и активностью Солнца. Рассмотрен вклад процессов водородной дегазации Земли в образование стратосферных облаков и их возможная связь с землетрясениями. Обсуждены условия образования стратосферных облаков, в том числе рассмотрен механизм образования воды в процессе горения водорода, попавшего в атмосферу в результате водородной дегазации Земли. Отмечено воздействие полярных стратосферных облаков на общее содержание озона в атмосфере.

Научные исследования этих облаков очень важны для лучшего понимания процессов, происходящих в стратосфере, поскольку стратосфера играет немаловажную роль в нашей жизни. Во-первых, в ней находится озоновый слой, который защищает нас от губительного воздействия солнечной радиации. Во-вторых, влияние динамических процессов, происходящих в стратосфере, сказывается и на тропосферной динамике, что может послужить ключом к созданию более точных методик долгосрочного прогнозирования погодных аномалий. Исследования полярных стратосферных облаков позволят ученым разгадать загадки процессов конденсации водяного пара, условия его существования, а также определить характер и скорость движения воздуха в стратосфере.

Литература

- Browell E.V., Ismail S., Carter A.F., Higdon N.S., Butler C.F., Robinette P.A., Toon O.B., Schoeberl M.R., Tuck A.F.** Airborne lidar observations in the wintertime arctic stratosphere: Polar stratosphere clouds. *Geophys. Res. Lett.*, v.17, N 4, p.385-388, 1990.
- Iraci L.T., Middlebrook A.M., Tolbert M.A.** Laboratory studies of the formation of polar stratospheric clouds – nitric-acid condensation on thin sulfuric-acid films. *Journal of Geophysical Research*, v.100, D10, p.20969-20977, 1995.
- Iraci L.T., Middlebrook A.M., Wilson M.A., Tolbert M.A.** Growth of nitric-acid hydrates on thin sulfuric-acid films. *Geophys. Res. Letters*, v.21, N 10, p.867-870, 1994.
- McCormick M.P., Steele H.M., Hamill P., Chi W.P., Swissler T.J.** Polar stratospheric cloud sightings by SAM II. *Journal of Atmospheric Sciences*, v.39, p.1387-1397, 1982.
- Molina M.J., Zhang R., Wooldridge P.J., McMahon J.R., Kim J.E., Chang H.Y., Beyer K.D.** Physical-chemistry of the H₂SO₄/HNO₃/H₂O system – implications for polar stratospheric clouds. *Science*, v.261, N 5127, p.1418-1423, 1993.
- National Earthquake Information Center, 2010. URL: <http://neic.usgs.gov/>.
- Poole L.R., McCormick M.P.** Polar stratospheric clouds and the Antarctic ozone hole. *J. Geophys. Res.*, v.93, D7, p.8423-8430, 1988.
- Saitoh N., Hayashida S., Sasano Y., Pan L.L.** Characteristics of Arctic polar stratospheric clouds in the winter of 1996/1997 inferred from ILAS measurements. *J. of Geophysical Research-Atmospheres*, v.107, D24, p.8205, 2002.

- Seinfeld J.H., Pandis S.N.** Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change. *John Wiley & Sons, Inc., New York-Chichester-Weinheim-Brisbane-Singapore-Toronto*, 1326 p., 1998.
- Solomon S.** Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. *Rev. Geophys.*, v.37, N 3, p.275-316, 1999.
- Strawa A.W., Drdla K., Fromm M., Pueschel P.F., Hoppel K.W., Browell E.V., Hostetler C.A., Hamill P.** Discriminating types Ia and Ib polar stratospheric clouds in POAM satellite data. *J. Geophys. Res.*, v.107, D20, p.8291, 2002.
- Tereshchenko V.A., Tereshchenko V.D.** Observation of a polar stratospheric cloud above Murmansk on 29 January 2008. *Proc. of the 31st Annual Seminar on Physics Auroral Phenomena, Apatity, Russia, 26-29 February, 2008, Apatity, KSC RAS, PGI*, p.196-199, 2008.
- Tisdale R.T., Middlebrook A.M., Prenni A.J., Tolbert M.A.** Crystallization kinetics of HNO₃/H₂O films representative of polar stratospheric clouds. *J. of Physical Chemistry*, v.101, N 11, p.2112-2119, 1997.
- World Meteorological Organization. Scientific assessment of ozone depletion: 2002. *Global ozone research and monitoring project, Geneva*, Report No. 47, 498 p., 2003.
- Zubkov V.S., Karpov I.K.** Impulse sources of energy in hot fields. L.P. *Zonenshain memorial conference on plate tectonics. Moscow, November 17-20, 1993, M., Kiel.*, p.167-168, 1993.
- Гуфельд И.Л., Гусев Г.А., Матвеева М.И.** Метастабильность литосферы как проявление восходящей диффузии легких газов. *Докл. РАН*, т.362, № 5, с.677-680, 1998.
- Дмитриевский А.Н.** Энергетика, динамика и дегазация Земли. *Электронный научный журнал "Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика"*, вып. 1(1), с.27-33, 2010 (<http://oilgasjournal.ru/2009-1/1-rubric/dmitrievsky-enrg.html>).
- Зубков В.С., Андреев В.В., Лузин В.Ф., Мартихаева Д.Х., Прокопчук С.И.** Детонация флюидов и землетрясения. *Вестник ИРОАН ВШ России*, № 1(14), с.148-153, 2009.
- Маракушев А.А.** Необходимо ли заменять хладагенты? *Вестник Российской Академии наук*, т.68, № 9, с.813-816, 1998.
- Николаев Ю.А., Фомин П.А.** О природе серебристых облаков и озонного слоя Земли. *Физика горения и взрыва*, т.33, № 4, с.3-13, 1997.
- Осика Д.Г.** Флюидный режим сейсмически активных областей. *М., Наука*, 204 с., 1981.
- Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Виролайнен Я.А.** Полярные стратосферные облака по данным спутниковых наблюдений. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т.44, № 4, с.483-493, 2008.
- Страхов В.Н.** К новой парадигме сейсмологии. *Природа*, № 12, с.4-9, 1989.
- Сывороткин В.Л.** Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. *М., Геосервис*, 250 с., 2002.
- Сывороткин В.Л.** Экспериментальное подтверждение водородной концепции разрушения озонового слоя Земли. *Система планета Земля. Материалы XIII научного семинара, М.*, с.265-267, 2005.
- Тун О.Б., Турко Р.П.** Полярные стратосферные облака и разрушение озонового слоя. *В мире науки*, № 8, с.34-40, 1991.
- Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С.** К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе. *Физика Земли*, № 7, с.31-45, 2007.
- Уткин В.И.** Радон и проблема тектонических землетрясений. *Соровский образовательный журнал*, т.6, № 12, с.64-70, 2000.
- Фирстов П.П., Широков В.А., Руленко О.П., Яковлева В.С., Исаев А.В., Малышева О.П.** О связи динамики подпочвенного радона (²²²Ra) и водорода с сейсмической активностью на Камчатке в июле-августе 2004 г. *Вулканология и сейсмология*, № 5, с.49-59, 2006.
- Черемисин А.А., Кушнарченко А.В., Маричев В.Н., Николашкин С.В., Новиков П.В.** Метеорологические условия и полярные стратосферные облака над Якутском зимой 2004/05 г. *Метеорология и гидрология*, № 3, с.43-53, 2007.