

Г.А. Никольский, Э.О. Шульц

**СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ОСТАТОЧНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ
В БЛИЖНЕЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

Анализируются данные высокогорных наблюдений за изменчивостью оптических спектральных плотностей в области 320–430 нм и общего содержания водяного пара и озона, полученные в периоды максимумов и минимума текущего и предшествующего циклов солнечной активности. Сделан вывод о постоянном контроле оптических характеристик тропосферной и стратосферной воздушных масс микроволновым и корпускулярным излучением Солнца. Корпускулярные потоки воздействуют на тропосферу умеренных широт только после мощных вспышек. Радиоизлучение Солнца в сантиметровом и миллиметровом диапазонах оказывает прямое воздействие на микрофизическое состояние водяного пара, изменяя тем самым радиационный и термический режим упомянутых слоёв атмосферы. Открывается возможность формулировки основного погодноклиматического механизма воздействия Солнца на тропосферу.

Совокупность спектральных данных, полученных в 1980-х годах на базе Горной астрономической станции ГАО АН СССР, охватывает период, включающий два максимума (1981 и 1989 гг.) и промежуточный минимум (1985–1986 гг.) солнечной активности (СА). Измерения спектральной оптической плотности толщи атмосферы в области спектра 300–530 нм сопровождалась измерениями общего (спектроскопического) содержания водяного пара по полосе 940 нм, спектральных интенсивностей солнечного ореола и метеорологических параметров.

Основная направленность исследований — выявление атмосферного компонента, воспринимающего импульсные воздействия солнечных эмиссий, всплески которых обязательно сопровождают большие хромосферные вспышки, и «включающего» механизм преобразования скрытой энергии тропосферных воздушных масс в изменения мезомасштабной циркуляции. Такой компонент был идентифицирован, им оказался тропосферный водяной пар, молекулы которого, оказывается, обладают свойством переходить под воздействием корпускулярного и микроволнового солнечных излучений из свободного состояния в связанное, то есть ассоциироваться в кластеры и далее — образовывать микродисперсную жидко-капельную фракцию. Этот процесс сопровождается выделением тепла, которое при достаточных масштабах процесса может стимулировать развитие инверсий или других термодинамических явлений. В случае устойчивой (в рассматриваемых слоях тропосферы) ситуации восстановление исходного содержания водяного пара может происходить либо спонтанно, либо под воздействием всплесков радиоизлучения Солнца в частотном диапазоне, ином чем для случая ассоциации молекул водяного пара.

Переход молекул водяного пара в связанное состояние влечет за собой уменьшение спектральной оптической плотности в видимой и ближней ИК-областях спектра, а также появление и углубление кластерных полос поглощения в области 320–330, 360, 380–390, 410 и 480 нм.

Как удалось установить из наблюдений за множеством откликов атмосферы на солнечные вспышки и всплески радиоизлучения, изменение общего спектроскопического содержания водяного пара (W , см осажденной воды) зависит от мощности и продолжительности воздействия солнечных «силовых факторов». При малой мощности солнечных событий, их кратковременности и разнесенности по времени изменение в W , обусловленное таким событием, составляет доли или единицы процентов, а фаза максимального снижения достигается через 15–20 мин после момента появления вспышки на диске Солнца в видимом свете или регистрации начала радиовсплеска на солнечных радиотелескопах.

Ассоциация молекул H_2O протекает достаточно эффективно лишь в том случае, если максимум интенсивности в спектре всплеска радиоизлучения находится на длинах волн $3 > \lambda > 12$ см. Радиовсплеска с максимумом излучения между 3 и 12 см обуславливают, по-видимому, процессы диссоциации кластеров и восстановление предшествующего или прогнозируемого значения W .

Эти выводы были получены в дни, когда отсутствие череды сильных вспышек и разнесенность по времени радио всплесков обеспечивали уверенную привязку событий на Солнце к микрофизическим и оптическим откликам тропосферы. Пример такой ситуации представлен на рис. 1 (см. [1], рис. 2, з).

Изменения остаточных оптических плотностей на длинах волн 411 и 557 нм и общего содержания водяного пара на протяжении большей части дня 29.07.1981 наглядно представляют отклики этих параметров практически на каждый радиовсплеск. Исключительно важные свидетельства были получены при воздействиях двух серий радиовсплесков около 11 ч и 14 ч местного времени. Измерения в октябре 1981 г. также представили большое число свидетельств быстрых и прямых откликов тропосферных параметров на солнечные события, среди которых было несколько вспышек (и сопутствующий

щих радиовсплесков) высокой мощности. Так, вспышки 12 октября 1981 г. около 10 ч утра оказали очень сильное воздействие на микрофизические и оптические параметры тропосферы. Общее содержание водяного пара в утренние часы было близко к нулю, а в полдень оптическая остаточная плотность на 411 нм упала практически до нуля. Такие сильные аномалии в тропосферных параметрах, по-видимому, не могут быть объяснены только на основе прямых эффектов воздействий на нижнюю тропосферу. Расчеты скоростей нисходящих потоков сухого воздуха из верхней тропосферы и нижней стратосферы подтвердили предположение о том, что под воздействием высокоинтенсивных потоков корпускулярного и микроволнового излучений нисходящее движение сухой верхнетропосферной воздушной массы (в гребне высокого давления над Сев. Кавказом) усилилось, что повлекло за собой вытеснение влажного нижнетропосферного воздуха за пределы Кисловодского района и заполнение его сухой воздушной массой.

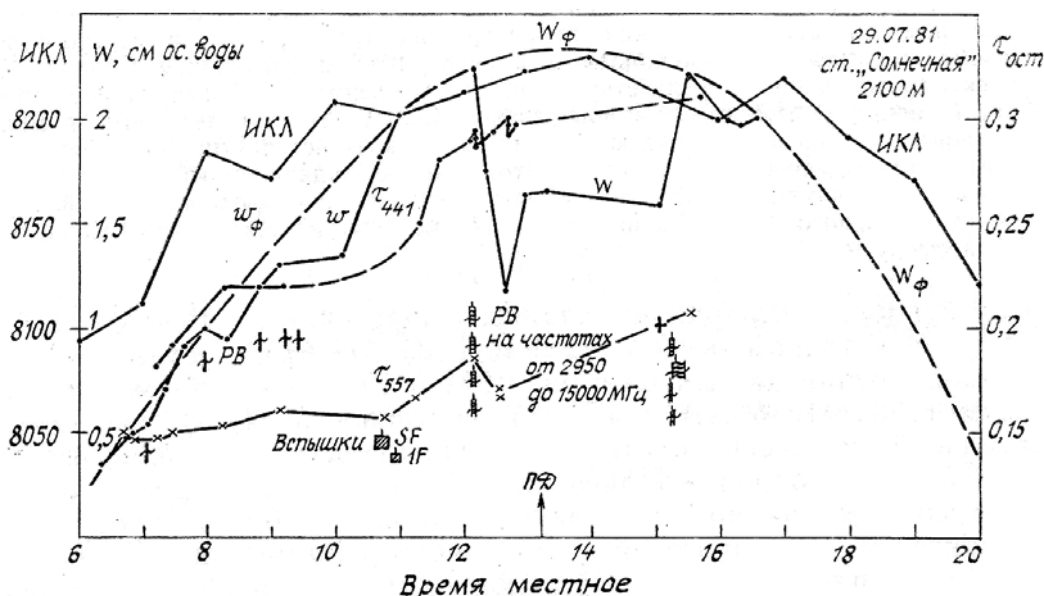


Рис. 1. Дневной ход спектральных остаточных плотностей на длинах волн 411 и 557 нм и общего содержания водяного пара выше уровня 2,1 км в сопоставлении с дневным ходом часовых сумм интенсивности космических лучей (ИКЛ) по данным нейтронного монитора в г. Тбилиси для 29 июля 1981 г. W_{ϕ} — восстановленный дневной ход W в фоновых условиях для случая, когда отсутствуют какие-либо возмущающие факторы. В нижней части рисунка показаны длительность и мощность вспышек (SF , $1F$) и радиовсплесков (PB)

Таким образом, совместное влияние прямых и опосредованных воздействий вызывает очень существенное изменение общего содержания водяного пара и оптических плотностей во всех участках спектра, которое растягивается на 10 ч и более. Большая продолжительность реакции тропосферы, очевидно, была predeterminedena серией предшествующих событий на Солнце, образующих почти непрерывную цепь воздействий на атмосферу [1].

Имеется ряд примеров отклика W на сравнительно сильные, но одиночные события на Солнце. В подобных случаях снижение W продолжается 60–70 мин, а процесс восстановления может затягиваться на 90 мин. Наиболее быстрое восстановление W от 0,5 до 1,0 см ос. воды заняло 30 мин.

Измерения в начальный период текущего максимума солнечной активности (1989 г.) однозначно подтвердили не только характер, но и пределы обнаруженных ранее откликов тропосферной воздушной массы над Сев. Кавказом. Ценные данные о реакции тропосферы были получены в результате прослеживания воздействий целой серии солнечных вспышек в период с 20 по 27 октября 1989 г. Самая мощная вспышка в этой серии (4 B) (цифра 4 обозначает площадь вспышки по пятибалльной системе — S, 1, 2, 3, 4; буква B — яркая вспышка [1]) произошла 19 октября в 12²⁹ UT (UT — время по Гринвичу). По состоянию погоды наблюдения начались только утром 20 октября, поэтому быстрый отклик атмосферы на всплеск радиоизлучения оказался недоступным для исследований. Однако 20 октября в земную атмосферу вторгся наиболее интенсивный при этой вспышке поток релятивистских солнечных протонов, зарегистрированный в 7¹⁰ UT на нейтронных мониторах, расположенных в высоких широтах Северного полушария.

Чрезвычайно важными оказались спектральные наблюдения за быстрым откликом тропосферы на вторжение высокоинтенсивного всплеска потока солнечных протонов. Реакция тропосферы над Сев. Кавказом растянулась на 70 минут. Минимальные значения W зарегистрированы в 7²⁶ UT, а максимальные величины остаточной оптической плотности в области спектра 360–430 нм в 7³⁰ UT. В результате воздействия этого корпускулярного потока оптическая плотность на длинах волн 380–390 нм возросла с 0,4 до 0,9, а W снизилось с 0,73 до 0,44 см ос. воды.

На рис. 2 представлено семейство кривых спектрального хода оптической остаточной плотности в разные моменты периода времени, охватывающего не только весь процесс реакции тропосферы на вторжение корпускулярного потока, но и некоторые отклики на предшествующие и последующие события на Солнце.

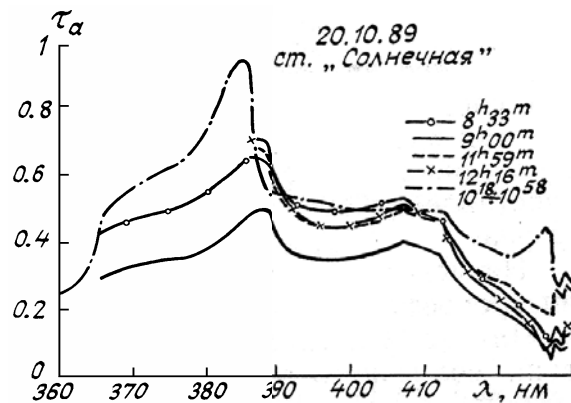


Рис. 2. Спектральный ход остаточной оптической плотности 20 окт. 1989 г. по измерениям на ГАС ГАО АН СССР в период с 8³⁰ до 12¹⁶ местного времени

Как видно из рис. 2, минимальные значения аэрозольной оптической плотности τ_a были зафиксированы около 9-ти часов местного времени (6⁰⁰ UT). Этот спектр относится к промежутку времени, когда не проявлялись заметные реакции на какие-либо внешние или внутриа-мосферные возмущения. Среднее значение оптической плотности для спектрального участка 378—407 нм в период от 9⁰⁰ до 9^{5a} составляет $\tau_a \approx 0,35$. Такое значение τ_a достаточно представительно для периода максимума солнечной активности.

Спектральный ход τ_a для момента 8³³ характеризует ситуацию с более сильным ослаблением, которое следует отнести за счет воздействия вспышки и радиовсплеска, случившихся между 8¹⁰ и 8³⁰ местного времени. Обращает на себя внимание нейтральный характер ослабляющего компонента, появившегося в результате быстрой реакции тропосферы на воздействие солнечных эмиссий между 8¹⁰ и 8³⁰. Совершенно другой характер спектра ослабления проявляется при отклике атмосферы на воздействие высокоэнергичного корпускулярного компонента между 10-ю и 11-ю часами. Ясно различим селективный характер у появляющейся в ходе отклика составляющей ослабления солнечного излучения в области 365—385 и 415—425 нм. Можно сделать вывод о том, что в уже имеющейся структуре селективности спектрального ослабления существенно интенсифицируются и сдвигаются в коротковолновую сторону спектральные максимумы: с 388 на 385 и с 428 на 426,5 нм. Оптическая плотность на участке 385—388 нм возрастает при возникновении отклика на вторжение корпускулярного потока от 0,5 до 0,95 (при сопоставлении со спектром для 9⁰⁰), а в области 427 нм примерно в 5 раз.

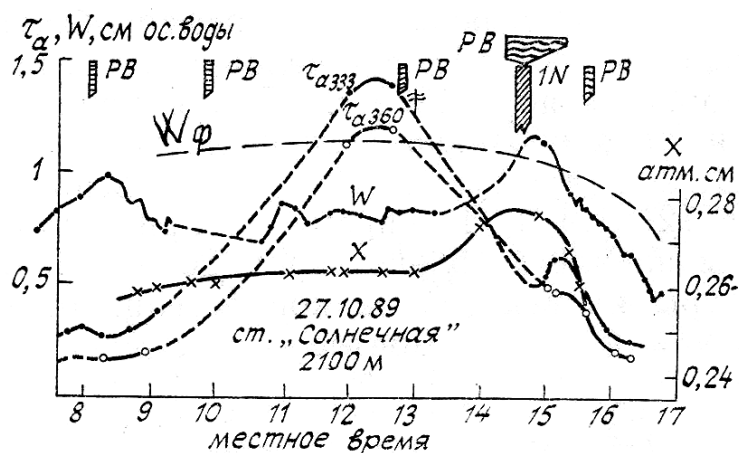


Рис. 3. Дневной ход спектральных оптических плотностей на длинах волн 333 и 360 нм и общего содержания водяного пара (W) и озона (X) для 27 октября 1989 г. В верхней части рисунка показаны моменты возникновения радиовсплесков и вспышки (1N) на Солнце

Не менее интересные выводы можно сделать из рассмотрения реакции тропосферы и стратосферы на радиовсплески и вспышку 27 октября. На рис. 3 представлен дневной ход основных составляющих ослабления солнечного излучения. В контексте рассматриваемых явлений аномального ослабления в

ультрафиолетовой области спектра следует обратить внимание на исключительно высокие величины τ_a в области 320–330 нм вблизи полудня ($\tau_{a\ 333} = 1,45$). Возрастание τ_a началось одновременно со снижением W около 8^{20} , вскоре после радиовсплеска в 8^{05} . Влияние радиовсплеска в 9^{50} не было прослежено из-за перерыва в наблюдениях. Максимум в потоке радиоизлучения в 8^{05} отмечен на частотах 2,8 ГГц. Третий радиовсплеск в этот день произошел в 12^{46} с максимумом на частоте 5,9 ГГц. Четвертый радиовсплеск произошел в 13^{01} с максимумом на частоте 0,536 ГГц. Как видно из рис. 3, $\tau_{a\ 333}$ и $\tau_{a\ 360}$ стали снижаться, по нашему мнению, в связи с воздействиями этих радиовсплесков.

Общее содержание озона (X) в первой половине дня никоим образом не реагировало на редкие солнечные события, но после четвертого радиовсплеска (13^{01}) X стало расти и уже вышло на максимум (0,277 атм · см) к началу вспышки (14^{31} , балл 1N) и к моменту максимума пятого радиовсплеска (14^{36}), когда высокоинтенсивный поток радиоизлучения $F > 1500$ солнечных единиц потока (1 с. е. п. = 10^{-22} Вт · м⁻² · Гц⁻¹) наблюдался на частотах от 2,85 до 15,4 ГГц. На частоте 9,3 ГГц радиопоток превысил 4000 с. е. п. Немного меньше была интенсивность радиопотока на частоте 15,4 ГГц (3900 с. е. п.). Отклики всех четырех компонентов ослабления на пятый радиовсплеск совершенно очевидны: W увеличилось на 0,25 см ос. воды, X — снизилось на 6%; $\tau_{a\ 333}$ и $\tau_{a\ 360}$ также отреагировали на радиовсплеск, но с некоторым опозданием (~ 20 мин) из-за изменений W и связанными с этим фазовыми преобразованиями. Пока остается невыясненным вопрос — была ли у компонент реакция не только на радиовсплеск, но и на вспышку 1N в 14^{31} (11^{31} UT). Следует заметить, что эта вспышка хотя и сопровождалась рентгеновским всплеском, но котируется как средняя, поэтому энергии эмитированных протонов не достигают сотен МэВ, и основной поток частиц не может иметь релятивистских скоростей и, следовательно, эта вспышка не должна оказать заметного воздействия на среднюю и нижнюю тропосферу умеренных широт.

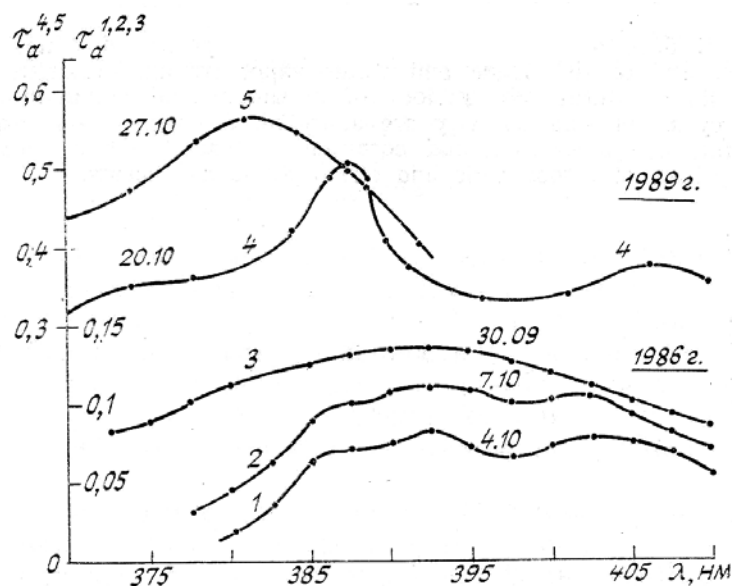


Рис. 4. Спектральные зависимости остаточной оптической плотности, характерные для периода минимума (кривые 1, 2, 3) и максимума солнечной активности (кривые 4, 5; 1989 г.)

Обратимся теперь к изменениям в величинах спектральных плотностей, связанным с изменением солнечной активности при переходе от минимума последней к максимуму. На рис. 4 представлены пять спектральных зависимостей остаточной плотности, характеризующих диапазон изменчивости ослабления солнечного излучения в ближней УФ-области спектра в связи с солнечной активностью. Кривые 4 и 5, относящиеся к 1989 г., показывают, что спектральное ослабление в этот период примерно в четыре раза выше, чем в аналогичных погодных ситуациях в период минимума солнечной активности (кривые 1, 2 и 3, нижняя шкала).

Обращаясь к изменению характера селективности в представленных зависимостях, можно отметить, что спектральный максимум при увеличении τ_a имеет тенденцию к смещению в область более коротких длин волн, где в подавляющем большинстве случаев обнаруживается вблизи 360 нм минимум ослабления, подтверждая тем самым существование явления аномальной прозрачности. Не представляя здесь данных по участку спектра вблизи 300 нм, отметим, что и там часто реализуется аномальный ход ослабления (снижение τ_a на длинах волн короче 310 нм).

Представленные данные, по нашему мнению, дают основание для утверждения о том, что микроволновое радиоизлучение Солнца активно контролирует оптические характеристики тропосферной воздушной массы, оказывая непосредственное воздействие на микрофизическое состояние ансамбля

молекул водяного пара и, как следствие, на оптические параметры толщи тропосферы в УФ-, видимой и ближней ИК- областях спектра.

1. Крауклис В.Л., Никольский Г.А., Сафронова М.М., Шульц Э.О. // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. № 3. С. 227–241.

Ленинградский госуниверситет

Поступила в редакцию
27 июня 1991 г.

G.A. Nikol'skii, E.O. Shults. **Spectral and Temporal Variations of the Residual Extinction in the Near UV-Region.**

Observational data on the variability of optical spectral densities in the region 320 to 430 nm and of the ozone and water vapor column densities obtained at a high-mountain station during the periods of maximum and minimum in the current and preceding cycles of solar activity are analyzed. A conclusion is drawn based on this analysis that the microwave and corpuscular fluxes make a constant effect on the optical properties of tropospheric and stratospheric air masses.