

УДК 551.508

Лидарные отражения верхней атмосферы Камчатки по результатам наблюдений 2008 г.

В.В. Бычков¹, Ю.А. Непомнящий¹, А.С. Пережогин¹,
Б.М. Шевцов¹, Н.М. Полех^{2*}

¹ Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
684034, Камчатский край, Елизовский р-н, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

² Институт солнечно-земной физики СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а

Поступила в редакцию 18.11.2013 г.

Приводятся экспериментальные данные, показывающие корреляцию сигналов обратного рассеяния света на длине волны 532 нм с параметрами, определяющими содержание плазмы в ночном слое F_2 ионосферы. На основании проведенного анализа лидарных данных и геофизической обстановки обсуждается гипотеза о возможной роли высоковозбужденных ридберговских атомов в формировании лидарных отражений на ионосферных высотах.

Ключевые слова: атмосфера, ионосфера, лидар, ионозонд; atmosphere, ionosphere, lidar, ionosonde.

Введение

Считается общепринятым, что при рэлеевском лидарном зондировании атмосферы лидарные сигналы от области высот более 100 км отсутствуют. Нередко средний сигнал с этих высот используется для определения фонового сигнала. В работе [1] по данным лидарных и ионосферных наблюдений за 28 марта 2008 г. показано, что в этот день разница суммарного сигнала от области высот 200–300 км, за вычетом независимо измеренного фонового сигнала, коррелирует с содержанием плазмы в области максимума ночного слоя F_2 ионосферы. Кроме того, обосновывается возможный физический механизм, объясняющий эти корреляции – формирование лидарных отражений на ионосферных высотах в предположении рассеяния на ридберговских атомах в метастабильных состояниях, возникающих в результате возбуждения электронным ударом. Проведенный анализ данных лидарных и ионосферных наблюдений обнаружил еще ряд дней с похожими корреляциями. В настоящей статье приводятся результаты таких наблюдений в 2008 г.

Аппаратный комплекс

В работе использованы экспериментальные данные, полученные на лидарной и ионосферной станциях, расположенных на Камчатке, с. Паратунка

(52,9° с.ш., 158° в.д.). Частота лазера Brilliant В составляла 10 Гц, энергия импульса 0,4 Дж, расстояние между осями приемника и излучателя 510 см. Приемный телескоп: зеркало диаметром 60 см, угол зрения приемника $7,5 \cdot 10^{-4}$ рад. Для исключения засветок ФЭУ от сигналов ближней зоны использовалось электронное запирающее импульсом длительностью 140 мкс. Сигнал регистрировался до начала 5 мс после посылки каждого светового импульса лазера с шагом, равным 10 мкс, что соответствует области высот от 21 до 600 км с шагом по высоте 1,5 км. Значение фонового сигнала получалось усреднением 400 значений фона, измеренного в промежутке между 20-й и 24-й мс после посылки каждого лазерного импульса.

Результаты наблюдений

Анализ результатов лидарных и ионосферных наблюдений позволил выделить в данных за 2008 г. ряд случаев корреляции лидарного сигнала с параметрами ионосферы, которые приводятся ниже.

28 марта 2008 г. Подробный анализ результатов наблюдений и геофизической обстановки в этот день приведен в работе [1], поэтому в настоящей статье они обсуждаются кратко. В ночное время с 13:00 и до 14:30 UT отмечалось небольшое, но резкое возрастание критической частоты слоя F_2 , сопровождавшееся уменьшением действующей высоты слоя F_2 на величину около 40 км. Одновременно на лидарном сигнале, суммированном по области высот 200–300 км, наблюдался всплеск, совпадающий во времени со всплеском критической частоты слоя F_2 ионосферы. Совпадало не только время появления

* Василий Валентинович Бычков (vasily@iikir.ru); Юрий Александрович Непомнящий; Андрей Сергеевич Пережогин; Борис Михайлович Шевцов; Нелли Михайловна Полех (polekh@iszf.irk.ru).

особенностей в ходе сигналов, но их морфология, всплеск в лидарных и ионосферных данных имел одинаковую двугорбую форму и длительность. По результатам измерений в этот же день в ранние ночные часы с 9:00 до 10:30 UT обнаружена также корреляция между значениями лидарного сигнала и действующей высотой слоя F_2 ионосферы [1].

Для геофизической обстановки в эту ночь характерно наличие сохранявшегося геомагнитного возмущения после бури, имевшей максимум 26 марта, значения местных геомагнитных K -индексов были порядка 4 во время наблюдений. По данным ионосферной станции одновременно было зарегистрировано появление спорадических слоев E_s корпускулярного типа на высотах 130–150 км и критической частотой f_oE_s порядка 1,5 МГц. По результатам измерений ИСЗ «Деметер» [http://demeter.cnrs-orleans.fr/] на ближайших траекториях, проходивших как восточнее, так и западнее Камчатки, при пересечении широты лидарных наблюдений зарегистрировано повышение плотности потоков высыпавшихся релятивистских электронов в интервале энергий 90,7–526,8 кэВ до 10^5 c^{-1} . На широте наблюдений 53° с.ш. измеренная величина потоков электронов достигала значений, полученных на той же траектории в авроральной зоне.

6 сентября 2008 г. На рис. 1, б приведен график f_oF_2 критической частоты слоя F_2 за 6 сентября 2008 г., на рис. 1, а – суммарные лидарные сигналы обратного рассеяния от слоев 150–200 и 200–300 км, построенные по рядам лидарных данных с 15-минутным накоплением. Фоновый сигнал из лидарного сигнала вычтен. Сигнал от слоя 300–400 км похож на оба сигнала рис. 1, а, поэтому не приводится.

Коэффициенты корреляции между суммарным сигналом от слоя 200–300 км и сигналами от слоев 150–200 и 300–400 км равны 0,83 и 0,88 соответственно. Такое поведение лидарных данных не характерно для сигналов с больших высот. Небольшое, но также необычное для ночных условий возрастание критической частоты слоя F_2 после 14:30 UT коррелирует с ростом лидарных сигналов от слоев верхней атмосферы во всей области высот 150–400 км. При этом действующая высота слоя F_2 уменьшается примерно на 10 км, что подтверждает достоверность роста критической частоты и «утолщения» слоя F_2 .

Очень похожие данные получены в лидарных и ионосферных наблюдениях в предыдущий день 5 сентября 2008 г. (см. [1, рисунки]). Значимых коэффициентов корреляций на полных рядах данных f_oF_2 и лидарных сигналов не обнаружено.

Корреляции лидарных сигналов со значениями f_oF_2 5 и 6 сентября 2008 г. имели место после геомагнитного возмущения, произошедшего 4 сентября. Среднесуточное значение K_p -индекса 4 сентября 2008 г. равнялось 3,8. Максимум возмущения с планетарными индексами $K_p = 6$, $A_p = 80$ нт, $D_{st} = -50$ нт имел место в 3:00 UT 4 сентября. В дни лидарных наблюдений 5 и 6 сентября местные K -индексы равнялись 2 2 1 1 3 0 1 2 и 2 1 1 1 3 2 1 2 соответственно. (Жирным шрифтом выделены K -индексы, наблюдавшиеся непосредственно во время лидарных наблюдений.)

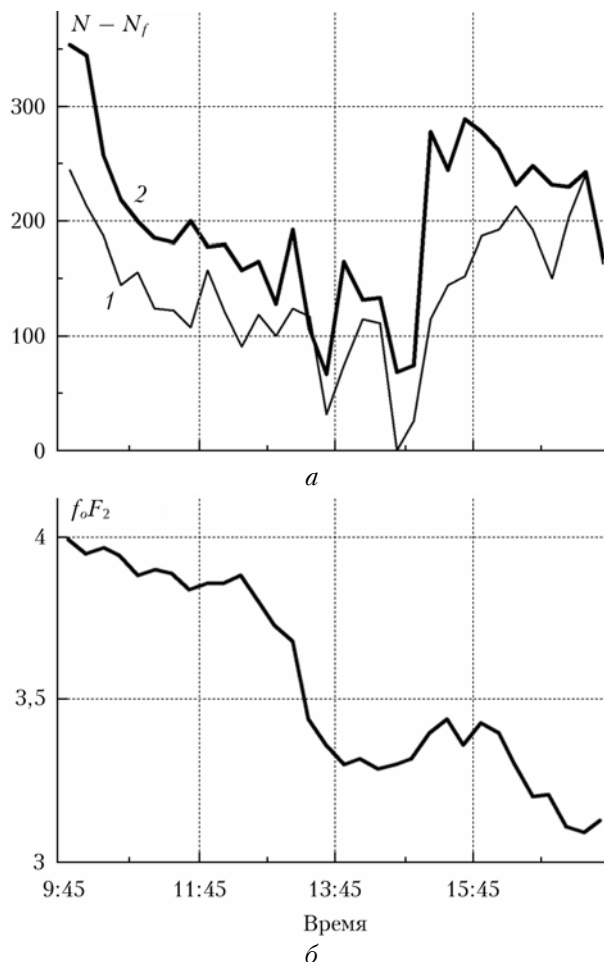


Рис. 1. Суммированные по слоям 150–200 (1) и 200–300 км (2) лидарные сигналы 06.09.2008 (а) и критическая частота слоя F_2 (б)

Планетарные индексы 5 и 6 сентября [http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.jsp] имели следующие значения: $K_p \sim 2$, $A_p \sim 10$ нт, $D_{st} \sim -20$ нт.

Согласно данным центра Киото, Япония [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html], в соответствии со значениями A_E -индекса 5 сентября в 12:00 UT и 6 сентября вблизи 00:00 и 12:00 UT имели место геомагнитные возмущения, суббури. Во время проведения лидарных наблюдений 5 сентября SKY-камерой ночного неба [2], установленной вблизи лидарной станции, с 12:10 до 13:20 UT зарегистрировано перемещающееся ионосферное возмущение на изображениях, снятых на длине волны 557 нм. А 6 сентября перемещающихся ионосферных возмущений SKY-камерой не зафиксировано ни на одной из рабочих частот.

По данным ионосферной станции ИКИР, ночные спорадические слои E_s 5 и 6 сентября наблюдались в интервале высот 100–114 км. Одновременно отмечались высокие для ночных условий значения f_{min} (порядка 1,5–1,65 МГц), что приводит к плохому отображению начала следа f_oF_2 , следа f_oE_s для обыкновенной волны и осложняет идентификацию типа слоев. Поэтому по правилам интерпретации ионограмм однозначно классифицировать тип слоев как корпускулярный сложно.

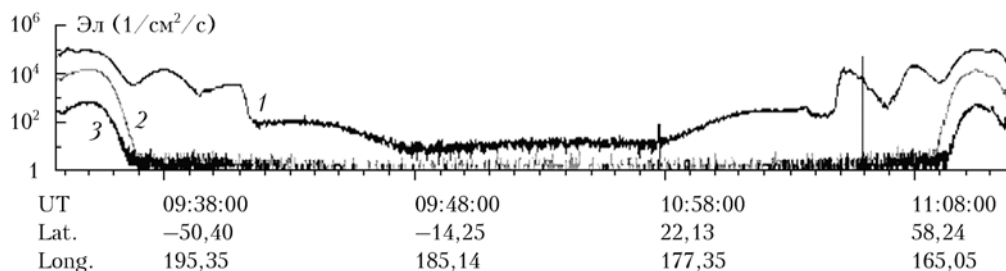


Рис. 2. Потоки электронов, измеренные ИСЗ «Деметер» 06.09.2012: 1 – 90,7–526,8; 2 – 526,8–971,8; 3 – 971,8–2342,4 кэВ

На рис. 2 приведены результаты измерений потоков электронов ИСЗ «Деметер» на ближайшей к Камчатке «восточной» траектории, проходившей 6 сентября на несколько градусов восточнее Камчатки около 22:00 местного времени, т.е. непосредственно во время лидарных наблюдений. Верхняя кривая соответствует потоку электронов в интервале энергий 92–526 кэВ. В Северном полушарии на ней зарегистрированы три максимума с потоками электронов $(2-3) \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ на широтах 48 и 58° и потоком порядка 10^5 с^{-1} на широтах 65–70°. Примерно такая же трехгорбая структура потоков электронов вдоль траектории пролета спутника сохраняется и на следующей траектории, проходившей через 1 ч 38 мин западнее Камчатки, и наблюдается на обеих траекториях за 5 сентября 2008 г. Черной вертикальной линией отмечен момент пересечения спутником 51° с.ш. Такая аппроксимация расположения лидарной станции связана с учетом наклона геомагнитного поля. В районе с. Паратунка, расположенного на широте 52,9° с.ш., магнитное склонение поля равно 65°, и потоки электронов, измеренные спутником на высоте 660 км, на высоте 100 км отклоняются к северу примерно на 2°.

Аппроксимация спектра высыпающихся электронов и расчет скорости ионизации показали, что при попадании в ночную атмосферу эти потоки вызывают увеличение ионизации в области 60–90 км на $1-2 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$. Такое увеличение скорости ионизации в ночных условиях может увеличить концентрацию заряженной компоненты в этой области, что, в свою очередь, приведет к росту поглощения радиоволн первых мегагерц и увеличению значений f_{min} . Для увеличения концентрации в области слоя F_2 ионосферы необходимы выпадения мягких электронов с характерными энергиями порядка 1 кэВ, которые спутником «Деметер» не измерялись.

10 ноября 2008 г. Особое место по характеру полученных данных о росте лидарных сигналов с ионосферных высот занимают результаты наблюдений, проведенных 10 ноября 2008 г. На рис. 3, а представлены лидарные сигналы от слоев 150–200 и 200–300 км, на рис. 3, б – графики критической частоты f_oF_2 и f_oE_s за тот же период времени.

В 10:45 UT от области 200–300 км наблюдается резкий, на ~170 фотонов, рост лидарного сигнала, накопленного за 15 мин, который затем в 11:15 UT возвращается к исходному среднему значению. Лидарный сигнал от слоя 300–400 км особенностей

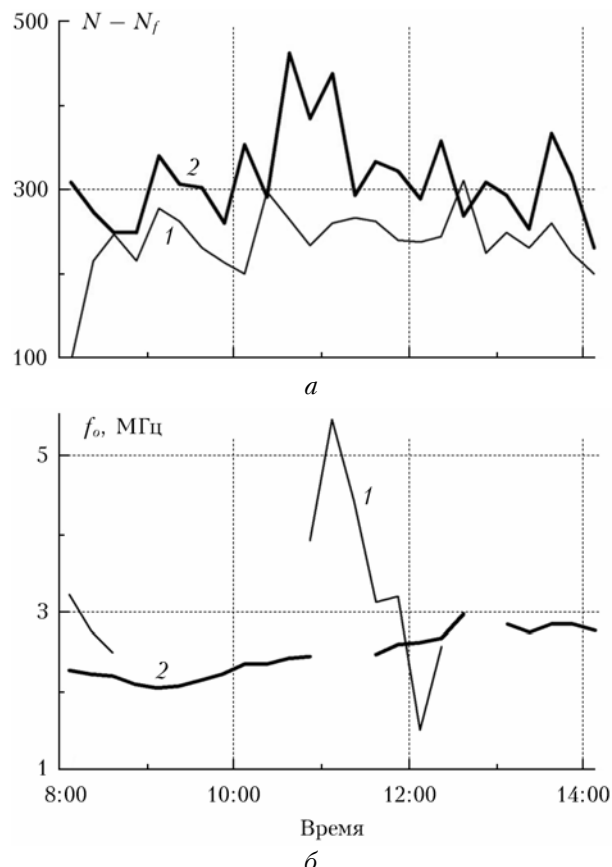


Рис. 3. Лидарные сигналы от областей 150–200 (1) и 200–300 км (2) (а), критические частоты f_oF_2 (2) и f_oE_s (1) 10 ноября 2008 г. (б)

в этот промежуток времени не имеет и не приводится. Одновременно появляется спорадический слой E_s с критической частотой 4–5 МГц, полностью экранирующий слой F_2 . След от слоя F_2 появляется через 45 мин, когда значение f_oE_s уменьшается примерно до 3 МГц. После 12:15 UT слой E_s исчезает. Однозначно определить тип спорадических слоев E_s , наблюдавшихся 10 ноября 2008 г. во время роста лидарного сигнала с 10:45 до 11:15 UT, по ионограммам нельзя. Но в 8:45 и 12:15 UT отмечались спорадические слои E_s определено корпускулярного типа.

По данным геомагнитной обсерватории ИКИР, все начало ноября сохранялись спокойные условия, с 1 по 6 ноября значения K -индексов были близки к нулю, с 7 по 9 ноября наблюдались умеренные

геомагнитные возмущения, суммарный суточный K -индекс находился в пределах 15–19, дважды появлялись трехчасовые значения K -индекса, равные 4. Непосредственно в день наблюдений 10 ноября суммарный за сутки K -индекс равнялся 7, трехчасовые значения во время наблюдений равнялись единице, и говорить о геомагнитных возмущениях в этот день нет оснований. По данным ИСЗ «Деметер», на ближайших к месту расположения лидарной станции точках траекторий спутника наблюдались повышенные значения потоков релятивистских электронов порядка 10^3 с^{-1} . Спорадические слои E_s высокой плотности и большой рост лидарного сигнала фиксировались в течение промежутка времени порядка 1 ч.

О высыпаниях электронов

Появление высыпаний электронов над местом расположения среднеширотной лидарной станции Камчатки подтверждается эпизодическим появлением на ионограммах спорадических E_s корпускулярного типа. Часто в условиях большого поглощения в нижних слоях и при высотах слоя, близких к обычной высоте появления плоских спорадических слоев (100–110 км), однозначно определить тип слоев как корпускулярный нельзя.

Проведенные 28 февраля 2013 г. наблюдения свечения ночного неба показали появление высыпаний электронов над Камчаткой даже в магнитоспокойных условиях. Во время эксперимента сфокусированный луч сигнала с телескопа лидара подавался на щель спектроанализатора Action SP250, Pincerton Instruments, соединенного с камерой Pico Star HR и Imager QE, La Vision. Лазер не включался.

В начале наблюдений с 11:00 до 11:20 UT определялись две хорошо выраженные линии на длинах

волн 557 и 630 нм. С 11:30 и до 12:50 UT на выборках с накоплением 20 мин в разных участках спектра фиксировалось интенсивное свечение. Пример такой спектрограммы приведен на рис. 4. По оси Y отложена интенсивность отсчетов.

По результатам анализа спектрограмм, в соответствии со справочником спектроскопии [http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html], идентифицированы переходы электронов из возбужденных состояний, в том числе из высоковозбужденных состояний с главным квантовым числом 5, 6, 7 для атомарного кислорода и 5 для атомарного азота [3].

По данным ионосферной станции в эту ночь на высотах ~ 100 км наблюдались спорадические слои E_s с критическими частотами 1,5–2,5 МГц. В 11:30 дополнительно появлялся второй слой на высоте 125 км. Морфологические особенности слоев в некоторые моменты времени и появление слоя на высоте 125 км позволяют идентифицировать тип слоев как корпускулярный. Наличие высыпаний электронов в ионосферу над местом расположения лидара и ионосферной станции подтверждается также динамикой формирования спектральных линий свечения ночного неба, непосредственно наблюдавшейся с 11:00 до 13:00 UT.

При этом все K -индексы геомагнитной активности равнялись единице не только во время наблюдений, но и в течение всей ночи. В течение недели, предшествовавшей эксперименту, не зафиксировано ни одного значения K -индекса больше 2. Таким образом, можно говорить о магнитоспокойных условиях во время проведения наблюдений свечения ночного неба и сделать вывод о том, что высыпания электронов в атмосферу Камчатки могут происходить и в магнитоспокойных условиях. Источник таких высыпаний не ясен, предположительно это высыпания из радиационного пояса Земли.

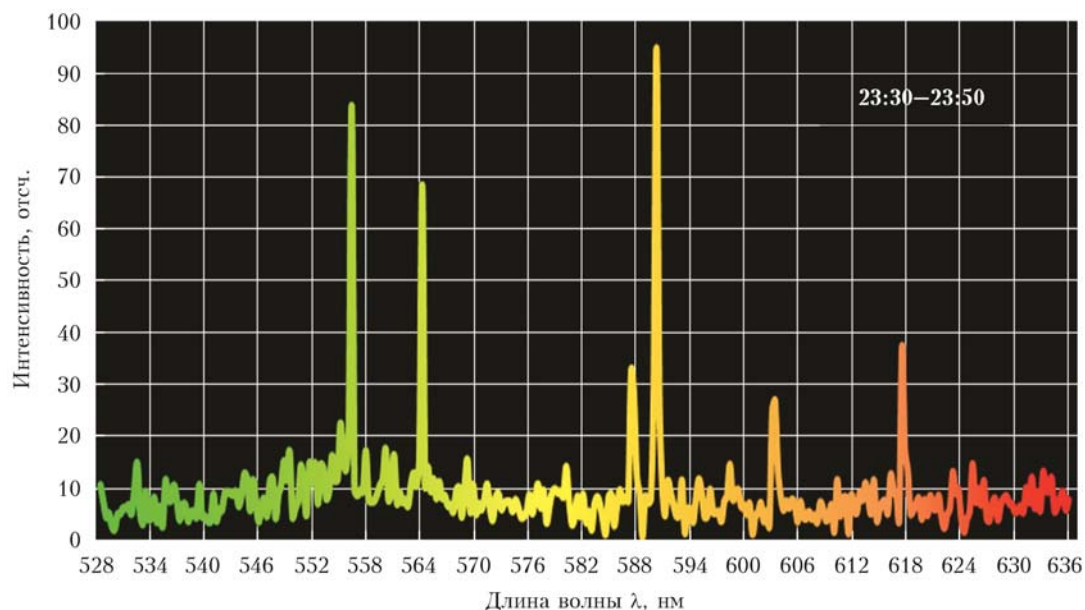


Рис. 4. Спектр свечения ночного неба, полученный с 11:30 до 11:50 UT 28.02.2013

Обсуждение результатов

По результатам наблюдений 28 марта 2008 г. и наличие в этот день спорадических слоев E_s корпускулярного типа на высоте 150 км в работе [1] характерная энергия высыпавшихся потоков электронов оценена как $\sim 0,5$ кэВ. Скорость ионизации, производимая такими потоками на высотах слоя 200–300 км, была оценена как $90\text{--}20 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$.

Достаточно большая длительность (~ 2 ч) внезапного повышения f_oF_2 6 сентября 2008 г. на $\sim 0,2$ МГц и одновременное уменьшение действующей высоты слоя F_2 не оставляют сомнений в реальности возрастания концентрации плазмы в ночном слое F_2 ионосферы. Приведенный на рис. 1 всплеск ионизации в ночном слое F_2 ионосферы имеет примерно такую же исходную концентрацию слоя, величину и продолжительность, как и рассмотренный в работе [1] случай от 28 марта 2008 г. Это позволяет применить к данной ситуации примерно те же оценки скорости дополнительной ионизации и оценить скорость дополнительной ионизации электронами на высотах 200–300 км величиной порядка $10^2 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$.

Другие объяснения внезапного повышения критической частоты слоя F_2 в ночной среднеширотной ионосфере предложить сложно. Наличие спорадических слоев на высотах 100–114 км области E в эту ночь может объясняться более жестким, чем 28.03.2008, спектром высыпавшихся электронов с характерной энергией в единицы кэВ [4].

Одним из возможных объяснений наблюдавшихся лидарных сигналов и их корреляций с изменениями содержания электронов в области максимума слоя F_2 ионосферы представляется гипотеза об участии высоковозбужденных, ридберговских атомов в формировании лидарных отражений с этих высот. Атомы и молекулы с главным квантовым числом, близким к 10, имеют геометрические сечения $\sigma \sim 10^{-12} \text{ см}^2$ [5], становятся сравнимыми по размерам с длиной волны лазерного излучения $\lambda = 532 \text{ нм}$ и могут эффективно с ним взаимодействовать. Отождествлять сечение рассеяния таких атомов с геометрическим сечением нет оснований, теории рассеяния на возбужденных атомах, вероятно, пока нет. Но прямое применение формулы для сечения рассеяния одиночного атома при оценке сечения рассеяния возбужденного атома с $n = 10$ дает близкую величину.

Сечение рассеяния одиночного атома определяется формулой

$$\sigma = 8|\alpha|^2 \omega^4 / (3\pi c^4),$$

где α — поляризуемость; ω — частота падающего излучения; c — скорость света [6]. Поляризуемость зависит от главного квантового числа как $\alpha \sim n^7$ [5] и при $n = 10$ сечение рассеяния возрастает на 14 порядков, поскольку оно пропорционально квадрату поляризуемости. Среднее сечение молекулярного рассеяния в видимом диапазоне в пересчете на одну частицу равно $\sim 10^{-27} \text{ см}^2/\text{ср}$. Из этих оценок следует, что при $n = 10$ сечение рассеяния $\sigma \sim 10^{-13} \text{ см}^2$.

Процесс ионизации электронным ударом всегда сопровождается образованием возбужденных атомов в метастабильных состояниях, поскольку при этом не соблюдаются правила отбора и могут образовываться атомы с большими значениями углового момента и большим временем жизни. Большие значения углового момента приводят к тому, что электрон основную часть времени проводит на больших расстояниях от ионного остова и слабо взаимодействует с ним. Как следствие, такие процессы потерь как автоионизация, преддиссоциация и излучение, в видимом и УФ-диапазонах сильно замедляются. Для молекул атмосферных газов при увеличении орбитального квантового числа на единицу скорость автоионизации уменьшается на порядок, а скорость преддиссоциации уменьшается пропорционально n^{-3} , где n — главное квантовое число [7].

Наибольшую роль при образовании высоковозбужденных атомов играют электроны средних энергий 10–100 эВ. Для электронов в диапазоне энергий от 15 до 60 эВ сечения ридберговского возбуждения превышают сечения всех других процессов ионизации и возбуждения для основных составляющих верхней атмосферы N_2 , O_2 , O [8]. Согласно работе [9] наиболее эффективным для образования высоковозбужденных атомов с большими значениями углового момента оказывается околорогового возбуждение, когда энергия налетающего электрона близка к потенциалу ионизации. Движения двух медленных электронов оказываются сильно коррелированными, и электроны эффективно обмениваются угловыми моментами, в результате чего атомы или молекулы образуются в состояниях с большими угловыми моментами. Согласно работам [7, 10] этим же околороговым энергиям электронов соответствует максимальное значение сечения возбуждения для многих ридберговских состояний. Все образующиеся в процессе ионизации электроны в результате потерь энергии на ионизацию и возбуждение в итоге приходят к состоянию с энергией, близкой к энергии ионизации, и могут образовать высоковозбужденный атом или молекулу с большим значением углового момента.

В работе [1] приведены расчеты геометрии лидарной системы и показано, что необходим один акт рассеяния в каждом 1 см^3 слоя 200–300 км, чтобы при изотропном рассеянии получить на зеркале телескопа 1 фотон. Наблюдавшаяся скорость поступления фотонов 28.03.2008 составляла $0,1 \text{ с}^{-1}$. При этом поток фотонов лазерного излучения на высоте 250 км составляет $\sim 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что обеспечивает высокую вероятность взаимодействия фотона с каждым возбужденным атомом сечением 10^{-12} см^2 . Поэтому при частоте лазера 10 Гц для получения наблюдавшегося сигнала необходимо среднее содержание высоковозбужденных атомов и молекул порядка $0,01\text{--}0,1 \text{ см}^{-3}$, что требует проверки другими экспериментальными методами.

Заключение

Показано, что над регионом расположения среднеширотной лидарной станции Камчатки наблюдаются

высыпания как релятивистских электронов с характерной энергией порядка 100 кэВ, ионизирующих область 60–100 км, так и мягких электронов с характерной энергией ~ 1 кэВ, вызывающих заметную ионизацию в области высот больше 100 км.

Показано, что синхронное повышение лидарного сигнала от области верхней атмосферы и критической частоты слоя F_2 ионосферы может быть объяснено рассеянием (либо поглощением фотонов с последующим переизлучением на той же частоте) на высоковозбужденных атомах и молекулах верхней атмосферы. Во всех случаях максимальный лидарный сигнал наблюдался от области высот 200–300 км, содержащей максимум ночного слоя F_2 ионосферы.

Работа выполнена при поддержке проекта ДВО РАН № 12-I-ОФН-16, Интеграционного проекта СО РАН № 106, гранта РФФИ № 13-05-01036а.

1. Бычков В.В., Шевцов Б.М. Динамика лидарных отражений верхней атмосферы Камчатки и ее связь с явлениями в ионосфере // Геомагнет. и аэроном. 2012. Т. 52, № 6. С. 837–844.
2. Shiokawa K., Katoh Y., Satoh M., Ejiri M.K., Ogawa T., Nakamura T., Tsuda T., Wiens R.H. Development of optical mesosphere thermosphere imagers (OMTI) // Earth Planets Space. 1999. V. 51. P. 887–896.

3. Непомнящий Ю.А., Пережогин А.С., Шевцов Б.М. Исследование динамики высоковозбужденных состояний атомов верхней атмосферы // Тезисы VI Междунар. конф. «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». Камчатский край, с. Паратунка. 9–13 сентября 2013. С. 18.
4. Демин М.Г., Хезай В.В. Аналитическая аппроксимация скорости ионизации авроральными электронами // Геомагнет. и аэроном. 1980. Т. 20, № 1. С. 145–147.
5. Avakyan S.V., Voronin N.A. Condensation process in the low atmosphere and microwave radiation of the Sun and ionosphere // Proc. 6th Inter. Conf. "Problems of Geocosmos." Saint-Petersburg. May 23–27 2006. P. 24–28.
6. Энциклопедия физики / Под ред. А.М. Прохорова. Т. 4. М.: Большая Российская Энциклопедия, 1994. С. 277–282.
7. Tarr S.M., Shrivane J.A., Friend R.S. Long-lived high-Ridberg molecules formed by electron impact: H_2 , D_2 , N_2 , and CO // J. Chem. Phys. 1981. V. 74, N 5. P. 2869.
8. Banks P.M., Kokartis G. Aeronomy. N.Y.: Acad. Press, 1973. 314 p.
9. Голубков Г.В., Голубков М.Г., Карпов И.В., Девдарни А.З. Излучение высоковозбужденных атомов и молекул в верхних слоях атмосферы // Хим. физ. 2011. Т. 30, № 5. С. 75–79.
10. Green A.E.S., Stolarski R.S. Analytic models of electron impact excitation cross sections // J. Atmos. and Sol.-Terr. Phys. 1972. V. 54. P. 1703–1717.

V.V. Bychkov, Yu.A. Nepomnjashchii, A.S. Perezhogin, B.M. Shevtsov, N.M. Polekh. Lidar reflections of upper atmosphere of Kamchatka by results of observations in 2008.

The results of upper atmosphere sounding, in comparison with the results of ionosphere observations, carried out simultaneously over Kamchatka, are presented. The correlation of lidar signals and parameters determining density of plasma in night F_2 layer of ionosphere is investigated. The possible role of ridberg atoms in forming phenomena is discussed.